

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

CENÁRIOS DE USO E OUTORGA DE ÁGUA PARA A BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO CANOAS: UMA CONTRIBUIÇÃO À
GESTÃO SOCIAL DA ÁGUA

CELSO MOLLER FERREIRA

Florianópolis, fevereiro de 2007

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

**CENÁRIOS DE USO E OUTORGA DE ÁGUA PARA A BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO CANOAS: UMA CONTRIBUIÇÃO À
GESTÃO SOCIAL DA ÁGUA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Ambiental.

Mestrando: Celso Moller Ferreira

Orientador: Prof. Dr. Daniel José da
Silva

Florianópolis, fevereiro de 2007

TERMO DE APROVAÇÃO

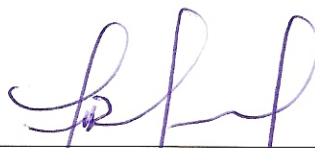
“Cenários de uso e Outorga de água para a Bacia hidrográfica do Rio Canoas: Uma contribuição à gestão Social da água”

Celso Moller Ferreira

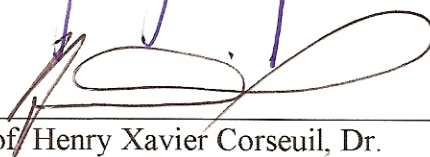
A Dissertação foi julgada e aprovada pela banca examinadora no Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA AMBIENTAL


Aprovado por:



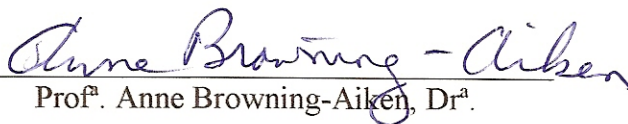
Prof. Sebastião Roberto Soares, Dr.



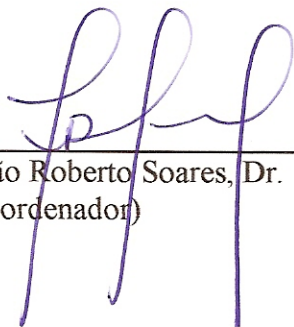
Prof. Henry Xavier Corseuil, Dr.



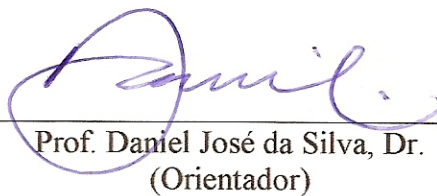
Prof. Henrique de Melo Lisboa, Dr.



Prof.^a Anne Browning-Aiken, Dr.^a



Prof. Sebastião Roberto Soares, Dr.
(Coordenador)



Prof. Daniel José da Silva, Dr.
(Orientador)

FLORIANÓPOLIS, SC – BRASIL
Março/2007.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Universidade Federal de Santa Catarina e ao Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, pela oportunidade de estudo, profissionalização, a minha formação de Engenheiro Sanitarista e Ambiental, de Mestre em Engenharia Ambiental, a todos os ótimos anos de estudos e principalmente de vida lá passados.

Agradeço ao CNPQ pelo financiamento da pesquisa, que possibilitou o aprofundamento do conhecimento dos modelos internacionais e o desenvolvimento do trabalho até o seu final.

Especial agradecimento dedico ao Prof Dr. Daniel Jose da Silva, meu mentor científico, por ter me acompanhado nesta jornada, sempre aberto ao dialogo, com palavras de sabedoria e incentivo, que abriu as portas e apoiou incondicionalmente as expedições em busca do conhecimento de modelos internacionais, sempre mostrando a necessidade de se diminuir os “buracos vazios” e “esquecer o armário cheio de velhas idéias”.

A todos os meus professores, que me ensinaram o caminho do conhecimento, mostrando formas de buscar a informação e como seguir o caminho ético da nossa profissão. Especialmente ao Prof. Dr. Henrique Melo Lisboa, por ter me aberto às portas do mundo científico internacional.

Especial agradecimento a Prof. Dra. Anne Browning-Aiken, a quem as palavras nunca serão suficientes para demonstrar a gratidão pelo apoio incondicional seja no campo institucional, científico, administrativo e principalmente pessoal. Ao meu grande amigo Danny Aiken, com quem compartilhei inúmeras discussões sobre as teorias da vida e junto com Anne Browning considero minha família americana.

Agradeço aos amigos do Instituto Autopoiésis Brasilis pela amizade, incentivo e excelentes contribuições, com especial carinho ao amigo Marcio, com quem tive o prazer de conviver por seis meses.

A Universidade do Arizona, através do Departamento de Hidrologia e Recursos Hídricos, e dos Centros de Pesquisa SAHRA e o UDALL Center por terem aberto suas portas, fornecido todo o suporte administrativo, local e científico para a realização do estagio sanduíche. Especial agradecimento aos profs. Jammes Shuttleworth, Juan Valdes, Kevin Lansey, Hoshin Gupta e Jim Washburn. Aos amigos Aleix Serrat e Giuseppe pelos grandes momentos vividos juntos.

Ao CEDEX pela enorme quantidade de informação apresentada, pelas viagens de campo, pelo apoio incondicional de seu pessoal técnico e administrativo, agradeço a todos através da pessoa do Prof. Javier Alvarez. A AECI pelo apoio financeiro que possibilitou a viagem a Espanha e a realização dos trabalhos na península Ibérica. A equipe da DHI Espanha que possibilitou uma vivencia no campo das aplicações praticas dos estudos hidrológicos e hidráulicos da Engenharia Ambiental.

Aos amigos Thiago do Prado Lopes e Julio Eduardo Mudat, que em sua disponibilidade contribuíram com idéias, discussões e trabalhos.

A minha família por todo suporte, que como sempre, nunca me deixaram faltar apoio, energia e amor. Um agradecimento especial a minha mãe e minha irmã Susan por toda força, incentivo e dedicação, que sem elas o trabalho não teria sido possível.

A Cris, pessoa muito especial em minha vida, que soube entender e respeitar a necessidade de momentos de distância, e mesmo de longe sempre me incentivou, me apoiou e me deu forças para continuar o meu caminho, um agradecimento especial para a maior motivadora deste trabalho e da minha vida.

*... os rios pelos quais eu passo,
vão seguindo comigo ...*

RESUMO

FERREIRA, Celso Moller. Cenários de uso e outorga de água para a bacia hidrográfica do rio canoas: uma contribuição à gestão social da água. Florianópolis, 2006. 163 pp. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC.

A outorga de uso da água é um instrumento previsto pela Lei Federal 9.433/97 que busca o aproveitamento sustentável das águas no território nacional, representando a tênue dualidade dos aspectos hídricos mais relevantes de uma bacia hidrográfica, o balanço entre a disponibilidade de recursos e a sua crescente demanda. Esta dissertação de mestrado apresenta um estudo de cenários de uso da água na bacia hidrográfica do Rio Canoas, em Santa Catarina, visando subsidiar o estudo de critérios de outorga de direito de uso da água, através da aplicação de um modelo de rede de fluxo para o suporte à decisão, o AcquaNet. O instrumento de outorga de recursos hídricos ainda não foi implementado nessa bacia hidrográfica e se encontra em fase de desenvolvimento pelo governo do Estado de Santa Catarina. Foi elaborado e estruturado um banco de dados organizado através de um Sistema de Informações Geográficas - SIG, contendo dados referentes à caracterização hidrográfica, estudo hidrológico das disponibilidades hídricas e estudos de estimativa da demanda de água na bacia hidrográfica. Foi avaliada a disponibilidade hídrica da bacia hidrográfica para atendimento das demandas estimadas e foram simulados cenários para estimar a garantia de abastecimento de demandas dos usos da água na bacia hidrográfica, considerando os critérios de outorga mais utilizados em outros Estados do Brasil. A elaboração de cenários de uso da água para a Bacia Hidrográfica do Rio Canoas permitiu avaliar a disponibilidade hídrica da bacia hidrográfica, possibilitou estudar critérios de outorga e avaliar garantias de abastecimento de água segundo o tipo de uso e o município. A simulação de uso da água na bacia permitiu avaliar impactos do aumento das demandas no atendimento aos usos atuais. Os cenários de uso da água gerados representam um marco inicial em formato pedagógico, para subsidiar o processo de gestão social da água na Bacia Hidrográfica do Rio Canoas e demonstrar a potencialidade do uso de sistemas de suporte à decisão aplicados ao instrumento de outorga de uso da água, como subsídio ao empoderamento e a participação social na gestão das águas.

Palavras chave: Gestão Recursos Hídricos, Outorga, Sistemas de Suporte a Decisão.

ABSTRACT

FERREIRA, Celso Moller. Water use scenarios and priority wrights' simulation at the Canoas Basin/Brazil: a contribution for water social management.

This thesis presents the study of the potentiality of the application of Decision Support Systems (DSS) to support water management process specially related to the concession of water use wrights. The water use permit is regulated by the Brazilian Water Federal Law 9.433/97, with priority at the basin level for human consumption and animal use. In this manner Brazil is trying to regulate water use in a sustainable way organizing the water rights and priorities in the sense to adequate water availability to water demands. A case study at the Canoas River Water Basin, on Santa Catarina State in southern Brazil, was developed with an application of a DSS to demonstrate the potentiality of these tools to improve the quality of public participation at the water management. At the Canoas River basin, where the law has so far not been implemented, current water management has no technical instrument to implement this requirement, so decisions are still made in the traditional bureaucratic way from top to bottom. The study of DSS developed in others country's permitted the knowledge transfer for the local basin. The lack of organized information and previous studies at the basin level forced the development of a consistent basic hydrologic data base. A Geographical Information System using ArcHydro has been developed, an estimation of water availability based on ANA – Agencia Nacional de Aguas hydrological data and an inventory of the water used for human consumption. In addition, a Decision Support System Model has been developed using AQCUANET to evaluate possible scenarios of water use and water permit criteria's in the basin and to estimate the impacts of this use in the basin. This model was used to predict and evaluate the impacts of water consumption from activities such as population demand, irrigation expansion, and land use change in general. This instrument will bring to public stakeholders, especially to newly forming water management at the community level, a tool for visualizing the effects and impacts of proposed alterations. Water managers, using this DSS tool, can understand better how the decisions they take affect the environmental quality of the basin. As the information at the basin level is now developed the goal is to bring technical arguments for the local community at the basin level on an attempt to improve public knowledge and participation in water resources management within the basin.

Key words: Water resources, water permit system, decision support models

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	17
1.1	Apresentação do Tema	17
1.2	Justificativas.....	19
1.3	Objetivos	21
1.4	Relevância	21
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	24
2.1	Gestão de Recursos Hídricos	24
2.2	Outorga de Recursos Hídricos para uso da Água.....	29
2.3	Sistemas de Suporte a Decisão para Outorga.....	35
3	MATERIAIS E MÉTODOS	46
3.1	Modelo Conceitual	46
3.2	Estruturação do banco de dados geográfico.....	48
3.3	Área de estudo.....	51
3.4	Caracterização hidrográfica	54
3.5	Caracterização hidrológica.....	65
3.6	Estimativa de usuários.....	90
3.7	Aplicação do Modelo de Suporte a Decisão	110
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	119
4.1	Avaliação da disponibilidade hídrica da Bacia Hidrográfica do Rio Canoas para atender as demandas de uso da água estimadas	119
4.2	Garantia de abastecimento de água segundo critérios de outorga na Bacia Hidrográfica do Rio Canoas.....	129
4.3	Cenários de disponibilidade hídrica com o uso máximo dos critérios de outorga....	140
5	CONCLUSÕES.....	145
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	147

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Estrutura típica de um sistema de suporte a decisão.....	35
Figura 2: Modelo conceitual utilizado na pesquisa.....	47
Figura 3: Modelo metodológico utilizado na pesquisa.....	48
Figura 4: Modelo conceitual proposto por Maidment (2002) , para o ArcHydro.....	49
Figura 5: Contexto Hidrográfico Nacional, com destaque para a Bacia Hidrográfica do Rio Uruguai em Azul e a Bacia Hidrográfica do Rio Canoas, delimitada em vermelho.....	51
Figura 6: Contexto da Bacia Hidrográfica do Rio Canoas delimitada em vermelho, sobre o Mapa de Regiões Hidrográficas do Estado de Santa Catarina.....	52
Figura 7: Contexto dos Municípios da Bacia Hidrográfica do Rio Canoas apresentados na divisão Política do Estado de Santa Catarina.....	53
Figura 8: Modelo digital de elevação de terreno (MDE) disponibilizado pela Epagri através da Mapoteca Digital.....	55
Figura 9: Modelo Digital de Elevação do Terreno corrigido através da operação de “ <i>filling sinks</i> ”.....	56
Figura 10: Modelo conceitual descrito por Olivera (2000) para o calculo da direção de fluxo pela máxima pendente.....	57
Figura 11: Arquivo GRID resultado do processamento do algoritmo para cálculo de direção de fluxo “ <i>Flow Direction</i> ” para a Região Hidrográfica n. 4 do Estado de Santa Catarina. O detalhe permite a visualização dos diferentes valores de direção de fluxo no GRID.....	58
Figura 12 – Modelo conceitual do algoritmo para avaliação de rede de drenagem e acumulação de fluxo.....	59
Figura 13: Arquivo GRID resultado do processamento do algoritmo para cálculo de acumulação de fluxo <i>Flow Accumulation</i> para a Região Hidrográfica n. 4 do Estado de Santa Catarina. O detalhe permite a visualização das células.....	60
Figura 14: Resultado do processo de geração artificial de redes de drenagem superficiais na Bacia Hidrográfica do Rio Canoas para os 4 critérios de área de drenagem mínima pré definidas.....	62
Figura 15: Análise do método de delimitação de áreas de drenagem, utilizando 3 delimitações da Bacia Hidrográfica do Rio Canoas.....	62
Figura 16: Pontos de controle em verde e a delimitação das 10 Sub-bacias para a área de estudo.....	64
Figura 17: Delimitação das 10 Sub-bacias para a área de estudo	64
Figura 18: Resultado do Inventário das Estações pluviométricas na Bacia Hidrográfica do Rio Canoas.....	67
Figura 19: Diagrama de barras para avaliação da disponibilidade de dados das estações pluviométricas no Rio Canoas.....	69
Figura 20: Análise de consistência pelo método de dupla massa para as estações pluviométricas selecionadas no Rio Canoas.....	72
Figura 21: Análise de consistência pelo método de dupla massa para as estações pluviométricas selecionadas no Rio Canoas.....	73

Figura 22: Resultado da determinação dos Polígonos de Thiessen para a Bacia Hidrográfica do Rio Canoas considerando as estações pluviométricas utilizadas no estudo.....	74
Figura 23: Arquivo RASTER resultado da interpolação espacial utilizando o método de Krigging Universal para determinação das Isoietas de precipitação média na bacia Hidrográfica do Rio Canoas.....	75
Figura 24: Gráfico de precipitação média mensal para a Bacia Hidrográfica do Rio Canoas calculado através do método de Thiessen para o período de 1965 a 2005.....	76
Figura 25: Série completa de precipitação média mensal para a Bacia Hidrográfica do Rio Canoas calculada através do método de Thiessen para o período de 1965 a 2005.....	76
Figura 26: Seis arquivos GRID resultados dos cálculos do modelo de regionalização para os índices hidrológicos da Q(média), Q(7,10) e Q(95) calculados pelas equações do IPH (2001) e ENGECORPS <i>et al</i> (2006).....	80
Figura 27: Valor calculado do índice Q(7,10) por sub-bacias de controle na Bacia Hidrográfica do Rio Canoas.	81
Figura 28: Valor calculado do índice Q(média) por sub-bacias de controle na Bacia Hidrográfica do Rio Canoas.....	82
Figura 29: Valor calculado do índice Q(95) por sub-bacias de controle na Bacia Hidrográfica do Rio Canoas.....	82
Figura 30: Inventários de Estações fluviométricas na Bacia Hidrográfica do Rio Canoas e região.....	85
Figura 31: Análise de consistência dos dados fluviométricos por estação fluviométrica na Bacia Hidrográfica do Rio Canoas.....	85
Figura 32: Estações fluviométricas na Bacia Hidrográfica do Rio Canoas utilizadas para o estudo.....	87
Figura 33: Gráfico comparativo dos valores do índice hidrológico de Vazão Média de Longo Período calculados por diferentes métodos para as Estações fluviométricas na Bacia do Hidrográfica do Rio Canoas utilizadas para o estudo.....	89
Figura 34: Gráfico comparativo dos valores do índice hidrológico de Vazão de Permanência em 95 % do tempo calculados por diferentes métodos para as Estações fluviométricas na Bacia do Hidrográfica do Rio Canoas utilizadas para o estudo.....	90
Figura 35: Demandas de água estimadas para o atendimento do abastecimento humano completo nos municípios da Bacia Hidrográfica do Rio Canoas.....	96
Figura 36: Demandas de água estimadas para o uso de abastecimento animal nos municípios da Bacia Hidrográfica do Rio Canoas.....	99
Figura 37: Demandas de água estimadas para o abastecimento industrial nos municípios da Bacia Hidrográfica do Rio Canoas.....	101
Figura 38: Demandas estimadas para a agricultura nos municípios da Bacia Hidrográfica do Rio Canoas.....	107

Figura 39: Participação por setor usuário nas demandas de água totais estimadas para a Bacia Hidrográfica do Rio Canoas.....	109
Figura 40: Consumo total de água estimado para a Bacia Hidrográfica do Rio Canoas.....	110
Figura 41: Legenda dos símbolos utilizados pelo AcquaNet para montagem da rede de fluxo	112
Figura 42: Rede de fluxo elaborada para a Bacia Hidrográfica do Rio Canoas.....	115
Figura 43: Rede de fluxo no modelo AcuaNet para a Bacia Hidrográfica do Rio Canoas.....	116
Figura 44: Detalhe da rede de fluxo no município de Urubici e nascentes do Rio Canoas.	117
Figura 45: Resultado da simulação com rede de fluxo para avaliação da disponibilidade hídrica por sub-bacias de controle na Bacia Hidrográfica do Rio Canoas considerando a vazão média.	121
Figura 46: Resultado da simulação com rede de fluxo para avaliação da capacidade de abastecimento de todas as demandas por sub-bacias de controle na Bacia Hidrográfica do Rio Canoas considerando uma permanência de 95 % do tempo e vazão ecológica.	125
Figura 47: Resultado da simulação com rede de fluxo para avaliação da capacidade de abastecimento de todas as demandas por sub-bacias de controle na Bacia Hidrográfica do Rio Canoas.....	126
Figura 48: Resultado da simulação com rede de fluxo para avaliação da capacidade de abastecimento de todas as demandas por sub-bacias de controle na Bacia Hidrográfica do Rio Canoas.	138
Figura 49: Resultado da simulação com rede de fluxo para avaliação da capacidade de abastecimento de todas as demandas por sub-bacias de controle na Bacia Hidrográfica do Rio Canoas, considerando o critério de outorga de 50 % da $Q(7,10)$	138
Figura 50: Resultado da simulação com rede de fluxo para avaliação da capacidade de abastecimento de todas as demandas por sub-bacias de controle na Bacia Hidrográfica do Rio Canoas, considerando o critério de outorga de 30 % da $Q(7,10)$	139
Figura 51: Resultado da simulação com rede de fluxo para avaliação da capacidade de abastecimento de todas as demandas por sub-bacias de controle na Bacia Hidrográfica do Rio Canoas, considerando o critério de outorga de 90 % da $Q(95)$	139
Figura 52: Resultado da simulação com rede de fluxo para avaliação da capacidade de abastecimento de todas as demandas por sub-bacias de controle na Bacia Hidrográfica do Rio Canoas, considerando o critério de outorga de 90 % da $Q(95)$	142

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Resultado geral da pesquisa bibliográfica.....	22
Tabela 2: Critérios de outorga utilizados em Estados Brasileiros.....	34
Tabela 3: Parâmetros para Geração das Redes Artificiais.....	61
Tabela 4: Pontos de controle definidos na Bacia Hidrográfica do Rio Canoas.....	63
Tabela 5: Inventário das estações pluviométricas existentes na Bacia Hidrográfica do Rio Canoas.....	66
Tabela 6: Resumo Estatístico dos Dados Brutos das Estações Pluviométricas na Bacia Hidrográfica do Rio Canoas. Total de 25 estações, com período de 64 anos, de 1941/1942 a 2004/2005.....	70
Tabela 7: Resumo Estatístico dos Dados Preenchidos das Estações Pluviométricas no Rio Canoas. Total de 25 estações, com período de 40 anos, de 1965/1966 a 2004/2005.....	71
Tabela 8: Determinação dos índices hidrológicos por sub-bacias considerando as Eq. de regionalização do IPH.....	81
Tabela 9: Determinação dos índices hidrológicos por sub-bacia considerando as equações de regionalização da Engecorps.....	81
Tabela 10: Estações Fluviométricas cadastradas nos sistemas de informações hidrológico na área da Bacia Hidrográfica do Rio Canoas.....	84
Tabela 11: Quadro resumo da disponibilidade de dados das Estações Fluviométricas disponíveis na Bacia Hidrográfica do rio Canoas. Um total de 17 estações fluviométricas, com um período registrado total de 65 anos de 1940/41 até 2004/05	86
Tabela 12: Análise para verificação dos resultados do estudo hidrológico considerando o parâmetro de área de drenagem.....	87
Tabela 13: Análise para verificação dos resultados do estudo hidrológico considerando o parâmetro de vazão média de longo período.....	88
Tabela 14: Análise para verificação dos resultados do estudo hidrológico considerando o parâmetro de vazão de permanência q(95).....	90
Tabela 15: Responsável pelo abastecimento urbano por município e fonte de captação.	91
Tabela 16: Demanda de água estimada para abastecimento humano.....	95
Tabela 17: Levantamento quantitativo dos rebanhos criados na Bacia Hidrográfica do Rio Canoas.....	97
Tabela 18: Estimativa de consumo de água por cabeça de animal.	98
Tabela 19: Estimativa de demandas de uso da água para a dessedentação de animais na Bacia Hidrográfica do Rio Canoas.....	99
Tabela 20: Estimativa da demanda de água para uso industrial por funcionário empregado.....	100
Tabela 21: Estimativa da demanda de água para uso industrial por funcionário empregado.....	101
Tabela 22: Estimativas de demanda de água para agricultura segundo método de irrigação.....	103
Tabela 23: Relação quantitativa de área plantada (ha) por tipo de cultura e por município dentro da área da Bacia Hidrográfica do Rio Canoas.....	105
Tabela 24: Estimativa da demanda de água para o uso agrícola por município na Bacia Hidrográfica do Rio Canoas.....	106

Tabela 25: Estimativa das demandas de água por tipo de uso na Bacia Hidrográfica do Rio Canoas.....	109
Tabela 26: Quadro síntese dos elementos utilizados para a rede de fluxo.....	114
Tabela 27: Critérios de prioridades utilizados no modelo.....	118
Tabela 28: Avaliação da disponibilidade hídrica por sub-bacia, considerando o aporte hídrico médio na bacia, utilizando os índices de vazão média calculados pela Equação de Regionalização do IPH.....	121
Tabela 29: Avaliação da disponibilidade hídrica por sub-bacia, considerando o aporte hídrico médio na bacia, utilizando os índices de vazão média calculados pela Equação de Regionalização do IPH.....	122
Tabela 30: Avaliação da disponibilidade hídrica por sub-bacia, considerando uma permanência de 95 % da vazão média calculadas pela Equação de Regionalização do IPH.....	123
Tabela 31: Avaliação da disponibilidade hídrica por sub-bacia, considerando uma permanência de 95 % da vazão média calculadas pela Equação de Regionalização do IPH.....	124
Tabela 32: Avaliação da disponibilidade hídrica por sub-bacia, considerando uma permanência de 95 % da vazão média calculadas pela Equação de Regionalização do IPH.....	126
Tabela 33: Avaliação da garantia de abastecimento das demandas estimadas por município, considerando uma permanência de 95 % da vazão média calculadas pela Equação de Regionalização do IPH com baixa prioridade para a vazão ecológica.....	127
Tabela 34: Cenário de uso da água na bacia considerando garantias de abastecimento por tipo de uso e município segundo disponibilidade do critério de outorga de 100% da vazão de referencia $Q(7,10)$	133
Tabela 35: Cenário de uso da água na bacia considerando garantias de abastecimento por tipo de uso e sub-bacia segundo disponibilidade do critério de outorga de 100% da vazão de referencia $Q(7,10)$	133
Tabela 36: Cenário de uso da água na bacia considerando garantias de abastecimento por tipo de uso e município segundo disponibilidade do critério de outorga de 50% da vazão de referencia $Q(7,10)$	133
Tabela 37: Cenário de uso da água na bacia considerando garantias de abastecimento por tipo de uso e sub-bacia segundo disponibilidade do critério de outorga de 50% da vazão de referencia $Q(7,10)$	134
Tabela 38: Cenário de uso da água na bacia considerando garantias de abastecimento por tipo de uso e município segundo disponibilidade do critério de outorga de 30% da vazão de referencia $Q(7,10)$	135
Tabela 39: Cenário de uso da água na bacia considerando garantias de abastecimento por tipo de uso e sub-bacia segundo disponibilidade do critério de outorga de 30% da vazão de referencia $Q(7,10)$	136
Tabela 40: Cenário de uso da água na bacia considerando garantias de abastecimento por tipo de uso e município segundo disponibilidade do critério de outorga de 90% da vazão de referência $Q(95)$	136
Tabela 41: Cenário de uso da água na bacia considerando garantias de abastecimento por tipo de uso e sub-bacia segundo disponibilidade do critério de outorga de 90% da vazão de referência $Q(95)$	137
Tabela 42: Síntese da garantia de abastecimento de todas as demandas por Sub-bacia de análise, segundo critérios de outorga analisados.....	137

Tabela 43: Cenário de uso da água na bacia considerando garantias de abastecimento de 95 % de permanência, por tipo de uso e município, considerando o uso máximo do critério de outorga de 50% da vazão de referência Q(7,10) nas sub-bacias de entrada no sistema.....	141
Tabela 44: Cenário de uso da água na bacia considerando garantias de abastecimento de 95 % de permanência, por tipo de uso e sub-bacia considerando o uso máximo do critério de outorga de 50% da vazão de referência Q(7,10) nas sub-bacias de entrada no sistema.....	141
Tabela 45: Avaliação do impacto na garantia de abastecimento de água considerando a outorga máxima de 50% da Q(7,10) nas bacias de nascentes, considerando uma permanência de 95 % da vazão média calculadas pela Equação de Regionalização do IPH.....	142

LISTA DE SIGLAS

ABAS - Associação Brasileira de Águas Subterrâneas
 ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental
 ABRH - Associação Brasileira de Recursos Hídricos
 ANA - Agência Nacional da Água
 ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica
 CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
 CASAN – Companhia Catarinense de Água e Saneamento
 CEDIBH - Centro de Disseminação de Informações para a Gestão de Bacias Hidrográficas
 CEPA - Instituto de Planejamento e Economia Agrícola de Santa Catarina
 CEURH - Cadastro Estadual de Usuários de Recursos Hídricos
 CHTAJO/MMA ES – Confederación Hidrográfica del Tajo / Ministerio del Medio Ambiente, España
 CNPQ - Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento
 CNRH - Conselho Nacional de Recursos Hídricos
 CSU - Colorado State University
 DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica
 DHI - Danish Hydraulic Institute
 EPAGRI - Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina S.A
 GIS – Geographic Information System
 GRH - Gestão de Recursos Hídricos
 GSA - Gestão social da água
 GTHIDRO - Grupo Transdisciplinar de Pesquisas em Gestão de Recursos Hídricos
 IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
 IGAM - Instituto Mineiro de Gestão das Águas
 INMET – Instituto Nacional de Meteorologia
 INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
 IPH - Instituto de Pesquisas Hidráulicas
 LABSID - Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões
 MDE - Modelos Digitais de Elevação
 NASA - Agência Espacial Americana
 NGA - Agência de Inteligência Geo-Espacial
 OD - Oxigênio Dissolvido
 OUT - Outorga
 PC - Pontos de controle
 PNRH - Plano Nacional de Recursos Hídricos
 PPGEA – Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental
 RH - Regiões Hidrográficas
 SAHRA - Sustainability of Semi Arid Hydrology and Riparian Areas
 SDR - Secretaria de Desenvolvimento Regional
 SDS - Secretaria de Desenvolvimento Social
 SIG - Sistema de Informação Geográfica
 SQL – Structured Query Language
 SRH/CE - Secretaria de Recursos Hídricos do Ceará
 SRH/PE - Secretaria de Recursos Hídricos do Estado do Pernambuco
 SRTM - Shuttle Radar Topography Mission
 SSD - Sistema de suporte a Decisão
 SUDERHSA – Superintendência de Recursos Hídricos

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

UNESCO – United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization

UNIAGUAS - Rede Universitária Interamericana de Gestão Social de Bacias Hidrográficas

UPV - Universidade Politécnica de Valencia

USGS - United States Geological Survey

USP - Universidade de São Paulo

USSP - *Uper San Pedro Partenership*

1 INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação do Tema

Esta dissertação é resultado de uma pesquisa do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental (PPGEA), da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), inserida na linha de pesquisa em gestão de bacias hidrográficas e planejamento de recursos hídricos, com o fim de contribuir com o processo de construção da sustentabilidade desses recursos, através do desenvolvimento de informações e conhecimento aplicados a processos de gestão social da água.

O aumento da demanda pelo uso da água já provocou em muitos locais, necessidades de consumo maiores que as quantidades disponíveis de água, inclusive, em bacias hidrográficas com histórico de disponibilidade de água. A relação da crise da água está inserida em um contexto ambiental global, de degradação e exploração irracional do planeta e vem mostrar o resultado de um longo período de utilização de um modelo insustentável de desenvolvimento econômico, social e ambiental.

Com o aumento das taxas de crescimento da população mundial e da degradação dos recursos hídricos, a humanidade parece estar condenada a uma crise de água nas próximas décadas. O mundo está se movendo para um período de estresse hídrico e competição pela água, com enormes implicações para a produção de alimentos, saúde humana e estabilidade política (POSTEL, 2001).

No final do milênio passado havia se tornado consenso mundial, a importância da água para a sustentabilidade da espécie humana e, também, na alteração do balanço entre disponibilidade de recursos e necessidades de consumo. Na seção extraordinária da Assembleia Geral das Nações Unidas, em Nova York, em junho de 1997, foi considerado que a falta de água seria um tema majoritário para os próximos cinco anos, demonstrando a preocupação mundial crescente sobre o assunto. Assim, o ano de 2003 foi considerado pela UNESCO como o Ano Internacional da Água Doce (UNESCO, 2003) inaugurando a implementação de programas informativos que buscam difundir a importância da água em nível internacional, mostrando que esse recurso vem sofrendo uma forte pressão durante as

últimas décadas, com a industrialização, consumo insustentável e a degradação das bacias hidrográficas.

Para reverter esse quadro é necessário olhar para alternativas de produção de água, usos eficientes de água, redução de desperdício e aumentar a eficiência do tratamento de águas residuárias, no sentido de produzir mais e poluir menos os recursos hídricos disponíveis, utilizando-se de um sistema adequado de planejamento do uso dos recursos hídricos, em todas as regiões onde haja fontes e mananciais de água sob efeito antrópico de degradação (EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY, 1998).

Há trinta anos, países que já apresentavam problemas de escassez hídrica instituíram instrumentos de gestão sustentável, para assegurar a integridade dos seus ecossistemas. Também garantiram aos cidadãos condições de participar do gerenciamento dos recursos hídricos e adequaram um valor para a água capaz de assegurar os custos de sua reposição (THAME, 2000).

No Brasil, a Política Nacional de Recursos Hídricos, promulgada em 1997, através da Lei Federal nº. 9.433, introduziu conceitos inovadores no que diz respeito à gestão dos recursos hídricos no território nacional. Até então, o dispositivo legal que regulava os recursos hídricos nacionais era o Código das Águas de 1934. A promulgação da Lei nº 9.433 organizou o gerenciamento dos recursos hídricos, criando os comitês de bacias hidrográficas, definindo a criação de suas respectivas agências e estabelecendo normas para o planejamento das bacias hidrográficas.

A partir de então, o setor começou a ganhar maior importância no cenário ambiental nacional. Acima de tudo, a Lei nº 9.433 promoveu, na teoria, uma importante descentralização da gestão: da sede do poder público para a esfera local da bacia hidrográfica. A Lei permite efetivar parcerias do poder público com usuários da água e as organizações representativas da sociedade civil.

A Década Brasileira da Água foi iniciada em 2005, conforme solicitação do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), integrando a Década Mundial instituída pelas Nações Unidas (UNESCO, 2005). Segundo o Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), Brasil (2006), essa iniciativa tem como propósito chamar a atenção para a elevada importância do tema água com vista a atingir as Metas Mundiais estabelecidas na Cúpula Mundial de Johannesburgo para o Desenvolvimento Sustentável (Rio+10), ocorrida em 2002.

Há hoje, no Brasil, consenso quanto à importância da outorga de direitos de uso da água como instrumento essencial para a adequada implementação da Política Nacional de

Recursos Hídricos. A implementação de um sistema de outorga, no entanto, é uma tarefa extremamente complexa, que demanda informação, recursos humanos adequados e instituições capacitadas (PORTO, 2003).

As decisões tomadas quanto à outorga dos direitos de uso da água determinam seu padrão de uso e sua alocação setorial, tendo assim conseqüências ambientais, sociais e econômicas que precisam ser cuidadosamente avaliadas antes que decisões sejam tomadas. Porém, para que esses aspectos possam ser avaliados, é necessário entender o sistema físico e natural de recursos hídricos, levando em consideração as características da bacia hidrográfica, o comportamento hidrológico na área e as diferentes possibilidades de operação das infraestruturas hídricas (PORTO, 2003).

1.2 Justificativas

Este trabalho de pesquisa foi financiado com bolsa concedida pelo Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento (CNPQ), através do edital nº 043/2004 do CT-HIDRO/CNPq/MCT, na área de gerenciamento de recursos hídricos, no tema de cobrança, outorga e enquadramento de corpos d'água, o que evidencia a preocupação nacional com relação ao desenvolvimento de ciência e tecnologia sobre o tema de gerenciamento de recursos hídricos.

A definição da área de estudo, assim como o tema da pesquisa, foi escolhido devido a sua pertinência com os marcos empíricos e científicos já estabelecidos pelo Grupo Transdisciplinar de Pesquisas em Gestão de Recursos Hídricos (GTHIDRO) do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, que vem trabalhando metodologias de gestão social da água na comunidade de Urubici, um dos municípios situados nas nascentes do Rio Canoas.

Dentro desse contexto, já foram realizados pelo Grupo de Pesquisa Transdisciplinar em Gestão de Bacias Hidrográficas (GTHIDRO), dissertações de mestrado de Callado (2003) e Silva (2004) e uma tese de doutorado, Palavizzini (2006), referentes a aspectos relevantes ao processo de gestão social da água na Bacia Hidrográfica do Rio Canoas, e também, trabalhos práticos na bacia, como os projetos do Centro de Disseminação de Informações para a Gestão de Bacias Hidrográficas (CEDIBH), o Projeto Aquífero Guarani, Ecologia e Gente de Montanha, Projeto Suinocultura e os Seminários Internacionais de Gestão Social da Água.

No nível internacional, a criação da Rede Universitária Interamericana de Gestão Social de Bacias Hidrográficas, a UNIAGUAS, formada por pesquisadores do GTHIDRO (Brasil), Universidade do Arizona (EUA), do CATIE (Costa Rica), Universidade de Sonora (México) e a Universidade Laval (Canadá) vem a consolidar o esforço conjunto com relação à gestão social da água.

A justificativa legal do trabalho está baseada na Lei n. 9.433, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, estabelecendo seus fundamentos, objetivos, diretrizes e instrumentos, dentre os quais está a outorga de direito de uso da água.

O Estado de Santa Catarina está atualmente em processo de desenvolvimento de um sistema de outorga para suas bacias hidrográficas. O instrumento de outorga de uso da água, os instrumentos de cobrança, enquadramento e alguns planos de gestão de bacia hidrográfica ainda não foram colocados plenamente em prática no Estado. Essa situação coloca o Estado de Santa Catarina em situação de defasagem com relação a alguns Estados do Brasil, onde tais instrumentos já foram implementados, estando há algum tempo em execução.

Dentro desse contexto, busca-se aqui aprimorar mais esse instrumento da Lei n. 9.433/97, de outorga de direito de uso, para alicerçar mais uma contribuição social da Universidade no sentido de levar a ciência para uso da sociedade. Os resultados da pesquisa vem a incentivar o desenvolvimento de um modelo de suporte a decisão que, efetivamente, seja utilizado no cotidiano do comitê gestor da bacia hidrográfica para deliberar e regularizar o uso da água na bacia.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Estudar critérios de outorga e elaborar cenários de uso da água para subsidiar o processo de gestão social da água na Bacia Hidrográfica do Rio Canoas, Santa Catarina.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Avaliar a disponibilidade de água na Bacia Hidrográfica do Rio Canoas para atender as demandas de uso da água, com base nos critérios de prioridades, balanço hídrico de oferta e demanda e vazão ecológica.
- Estudar cenários de uso da água com base em critérios de outorga para a bacia hidrográfica do Rio Canoas.
- Simular uma situação de uso total da água segundo critérios de outorga de água na bacia hidrográfica do Rio Canoas.

1.4 Relevância

As palavras-chave utilizadas para medir o grau de importância desta pesquisa representam os eixos temáticos da pesquisa. Considerando que a gestão de recursos hídricos, apesar de representar a área temática do trabalho, apresenta resultados muito amplos. Por essa razão foi incluída também a busca pela referência à gestão social da água (GSA).

- Gestão de Recursos Hídricos (Water Resources Management; Gestion de Recurso Hídrico); (GRH)
- Outorga (Water rights; Concesiones); (OUT)

- Sistemas de Suporte a Decisão (Decision Support System; Sistemas de Ayuda a Decisión); (SSD)

As principais bases de pesquisa local foram os registros da Biblioteca Central da Universidade Federal de Santa Catarina e a da Biblioteca Setorial do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. A pesquisa em nível nacional incluiu a plataforma da CAPES e o Banco de Teses da USP. A área de recursos hídricos não conta com uma variada quantidade de periódicos técnicos para a publicação de pesquisas específicas. Dessa forma, uma grande quantidade de publicações acontecem nos congressos oficiais organizados por entidades técnicas nacionais, como a Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), a Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES) e a Associação Brasileira de Águas Subterrâneas (ABAS).

A pesquisa internacional foi realizada com base nos periódicos referentes à hidrologia, recursos hídricos e meio ambiente, com destaque para o *Journal of Hydrology*, o *Water Resources Management*, *Water Science and Technology* e uma busca específica na Biblioteca da Universidade do Arizona.

A Tabela 1 apresenta o número de citações encontradas para a pesquisa segundo as palavras-chave, combinações e cruzamentos, em cada base de dados pesquisada.

Tabela 1 – Resultado geral da pesquisa bibliográfica

Base de dados	GRH	OUT	SSD	GSA	RH + OUT	RH + SSD	OUT +SSD	RH + OUT + SSD	SSD + OUT + GSA
BU UFSC – TESE	16	1	14	2	1	0	0	0	0
BU UFSC – DISS	20	3	33	10	2	0	0	0	0
WEB OF SCIENCE	1209	2501	7996	899	75	435	176	176	3
SCIENCE DIRECT	6								
USP	2684	63	3036	0	2				
CAPES	37	5	11	6	2	2	1	1	0
	1292	71	324	111	58	18	4	4	0

Em linhas gerais foram encontrados resultados significativos para a pesquisa em palavras-chave específicas sem cruzamentos. A palavra-chave “outorga” foi a palavra com menos incidências em todas as bases de dados, o que reflete ainda a carência científica neste tema, principalmente em nível nacional. A palavra chave de “gestão social da água” também apresentou pouca incidência, se comparada às outras. Ao se realizar a pesquisa por cruzamentos de palavras-chave, verificou-se uma redução considerável do número de ocorrências em todas as bases pesquisadas, principalmente relativas ao cruzamento de outorga, gestão de recursos hídricos e sistemas de suporte à decisão.

No nível local, considerando a pesquisa realizada no banco de dados da UFSC e do PPGEA, não foi encontrada nenhuma referência na pesquisa que cruzava três palavras-chave. A dissertação de mestrado realizada por Rocha (2002) representou o cruzamento de duas palavras-chave. No nível nacional, merecem destaque os trabalhos encontrados em publicações da ABRH, principalmente da Revista Brasileira de Recursos Hídricos e nos Congressos Nacionais da entidade. Também merecem destaque as publicações encontradas nos bancos da Universidade de São Paulo (USP) e do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Gestão de Recursos Hídricos

2.1.1 A Gestão de Recursos Hídricos no Brasil

Para Campos (1940), a água é definida como uma substância líquida, inodora e insípida, encontrada com relativa abundância na natureza. Já para Christofidis (2002), a água é muito mais que uma questão biológica ou um ente físico-químico. Ela tem a energia do Universo. Segundo o mesmo autor, o ser humano deve perceber a água, o Ser que ela é, matéria e energia, pela modificação que sente, percebe e transcreve, auxiliando a nossa própria transformação.

Rebouças (1999), no entanto, ressalta que o termo água é associado ao elemento natural, desvinculado de qualquer uso ou utilização, enquanto o termo recurso hídrico considera a água como um bem econômico, passível de utilização para um determinado fim. Vale lembrar que nem toda água na terra é um recurso hídrico, uma vez que sua exploração pode não ser viável tecnicamente ou economicamente.

Para Ribeiro e Lanna (2003), a gestão de recursos hídricos é uma atividade analítica e criativa voltada para a formulação de princípios e diretrizes, para o preparo de documentos orientadores e normativos, à estruturação de sistemas gerenciais e à tomada de decisões que tem por objetivo promover o inventário, uso múltiplo, controle e proteção dos recursos hídricos.

Fazem parte dessa atividade elementos como: a Política de Recursos Hídricos, o Plano de Recursos Hídricos, o Gerenciamento de Recursos Hídricos, Sistemas de Gerenciamento de Recursos Hídricos, desenvolvimento econômico, aumento populacional, expansão da agricultura, pressões regionais, mudanças tecnológicas, mudanças sociais, urbanização, demandas sociais, demandas ambientais e a consideração de incertezas no futuro.

Freitas (2001) considera que a gestão ou o gerenciamento de um recurso que é, simultaneamente, econômico ou sociocultural deve conhecer a articulação do conjunto de ações dos diferentes agentes sociais, econômicos e socioculturais, objetivando compatibilizar

o uso, controle e a proteção desse recurso ambiental, disciplinando as respectivas ações antrópicas de acordo com a legislação e a política estabelecida para o mesmo, de modo a se atingir o desenvolvimento sustentável.

Historicamente, a gestão de recursos hídricos tem acontecido em países e regiões em que há problemas de escassez de água, resultando em limitações no desenvolvimento econômico e social. Países como os Estados Unidos, França, Alemanha e Grã Bretanha, na década de 1960, renovaram suas leis e instituições à procura de maior eficácia na recuperação e conservação de seus recursos hídricos.

No Brasil, a história da preocupação com o estabelecimento de normas para o uso da água não é muito longa, mesmo considerando a escala de pouco mais de 500 anos. A administração dos problemas hídricos, levando-se em conta uma bacia hidrográfica, não foi, também, tradição no Brasil. Até os anos de 1970, as questões de recursos hídricos eram consideradas a partir das perspectivas dos setores usuários de água, tais como o hidrelétrico, navegação e agricultura (PNRH, Brasil 2006).

Segundo a Agência Nacional da Água, ANA (2002), as reformas na área de gerenciamento de recursos hídricos tiveram início na década de 1980, quando setores técnicos do governo perceberam a necessidade de uma modernização técnica e legal, até então regulamentado pelo Código de Águas de 1934, voltado principalmente para o uso do setor elétrico.

Alguns estados brasileiros se anteciparam ao cenário nacional, criando suas políticas estaduais de água, como o caso do Estado de São Paulo. No nível nacional, o marco legal, implementado pela Política Nacional de Recursos Hídricos, constitui um divisor de águas no que diz respeito ao gerenciamento de recursos hídricos no País.

Após 10 anos de publicada a Lei Federal n. 9.433/97, o País se encontra em pleno processo de implementação dos instrumentos previstos pela Política Nacional de Recursos Hídricos. O Plano Nacional de Recursos Hídricos publicado em 2006 é resultado desse processo. O primeiro Plano Nacional de Recursos Hídricos do País traz um panorama e estado dos recursos hídricos no País, programas nacionais e metas, diretrizes e cenários de uso da água para 2020, além dos cadernos setoriais de usuários da água. O modelo de gerenciamento adotado no Brasil representa um novo marco institucional, incorporando princípios e instrumentos de gestão inteiramente novos, embora já aceitos e praticados em vários países.

2.1.2 Marco Legal

Do ponto de vista do referencial legal para a gestão dos recursos hídricos, o Brasil conta com um arcabouço jurídico privilegiado e avançado em relação a outros países do mundo. Já existem dispositivos legais desde 1934, como o primeiro Código das Águas. Esse código já previa o princípio poluidor - pagador, o qual, contudo, nunca foi aplicado. Isso se deve, em parte, por existir no Brasil o preconceito perigoso que afirma que nunca poderá faltar água no País devido à abundância de água no território nacional.

Em 8 de janeiro de 1997, foi sancionada a Lei nº 9.433, instituindo a Política Nacional de Recursos Hídricos e criando o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

Segundo Silva (2005b), o espírito dessa Lei está explícito em sua própria estrutura. Trata-se de uma Lei para mediar relações. O objetivo desta lei é mediar as relações entre as pessoas, as organizações e o ambiente natural. Com o intuito de mediar conflitos e garantir a preservação e uso racional dos recursos hídricos, esta Lei se caracteriza por ter dado um movimento inicial decisivo rumo aos processos de preservação e recuperação dos recursos hídricos do País.

Dentro de seu texto, a Lei enumera com clareza princípios básicos, como a adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento; a água como um bem público, o direito de usos múltiplos, quebrando a hegemonia de um setor sobre os demais; o reconhecimento da água como um bem finito e vulnerável; o reconhecimento do valor econômico da água e a gestão integrada e participativa dos recursos hídricos.

Os objetivos claramente explicitados no capítulo II, Art. 2, da Política Nacional de Águas brasileira são:

“Assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos;
A utilização racional e integrada dos recursos hídricos, incluindo o transporte aquaviário, com vistas ao desenvolvimento sustentável;
A prevenção e defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais” (LEI FEDERAL nº 9.433/97, ART. 2).

Pela da lei 9.433/97, foram definidos cinco instrumentos essenciais à boa gestão do uso da água. São eles: o Plano Nacional de Recursos Hídricos, a Outorga de Direito e Uso dos Recursos Hídricos, a Cobrança de Uso da Água, o Enquadramento dos Corpos de Água em

Classes de Uso, o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos. Vale ressaltar o sexto instrumento que foi vetado no momento de aprovação da Lei 9.433 em 1997, o da compensação aos municípios. A compensação financeira aos municípios pode incentivar práticas de conservação hídrica por parte de municípios com localizações estratégicas na bacia hidrográfica.

A partir da Lei 9.433/97, a gestão social da água surge no Brasil como um novo paradigma em gestão de recursos hídricos, em contraposição às velhas idéias, conforme a noção de paradigma proposta por KHUN, (1962). Ao definir a água com um bem público, estabelecendo que a água é um bem do povo brasileiro e declarando a necessidade da gestão participativa, descentralizada e integrada de toda a sociedade.

Segundo Silva (2005b), a bacia hidrográfica é a unidade de planejamento e gestão, representando a dimensão espacial da gestão. Os fenômenos culturais são representados pela dimensão ecológica, social e econômica. A dimensão ecológica representa o reconhecimento da água como um bem natural, que faz parte do ambiente, reconhecendo sua pertinência e valor ecológico. Daí surge a necessidade da sensibilização para despertar o respeito pela água. A dimensão social está garantida pelo texto legal por meio da gestão participativa e descentralizada da água, que é um bem público, ou seja, de todos.

Essa dimensão é a base do novo paradigma a ser construído, permitindo a aproximação das pessoas com o elemento hídrico, a água. A dimensão econômica agrega valor ao bem público, estrategicamente no passivo ambiental, o que é público é a água limpa, o esgoto é de cada um que o produz, sendo sua responsabilidade tratá-lo antes de devolvê-lo a sociedade. A dimensão espacial, vitalizando o espaço e o conceito de bacia hidrográfica, favorece as ações de planejamento estratégico para dentro das bacias.

No nível estadual, as leis sobre Recursos Hídricos de Santa Catarina datam de 1985, 1993 e 1994, anteriores, portanto, à Lei no. 9.433/97. Fica instituído pela Lei Estadual nº 9.022/93, o Sistema Estadual de Gerenciamento dos Recursos Hídricos e a Lei 9.748/94 estabelece a Política Estadual de Recursos Hídricos.

Decorridos mais de dez anos da publicação da Lei, houve a necessidade de se regulamentar este importante instrumento de gestão dos recursos hídricos. A legislação estadual, seguindo as diretrizes federais, está em processo de renovação, através do Projeto de Lei Nº 0292.5/2004, que dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, a instituição, estruturação e organização do Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos para o Estado de Santa Catarina, tendo como princípios básicos que o gerenciamento de recursos

hídricos deve ser integrado, descentralizado e participativo, e a outorga de direitos de uso são considerados como um instrumento essencial para o seu gerenciamento.

2.1.3 A Gestão Social da Água

Silva (2005) chama a atenção para o distanciamento que existe entre a gestão integrada de bacias hidrográficas, entendida como uma técnica de integração de disciplinas, de ações setoriais e de usos da água e a realidade de abandono e degradação local vivida pelas comunidades de bacias no Brasil. Esse distanciamento pode ser percebido como espaços vazios presentes entre a realidade da comunidade de bacia e as técnicas de gerenciamento de recursos hídricos.

Esses espaços vazios são resultados do distanciamento pedagógico, cultural e político existente entre a gestão integrada de bacias hidrográficas e a realidade das comunidades de bacias. A necessidade de um paradigma integrador marca os próximos passos para o sucesso do processo de gerenciamento dos recursos hídricos de forma sustentável.

Silva (2005) também reconhece que as estratégias necessárias para o preenchimento desses vazios, sejam elas na esfera pedagógica, cultural ou política, transcendem em muito as competências, tanto da gestão integrada de recursos hídricos como das comunidades de bacias. Para buscar soluções para uma situação em que a saída é mais difícil que a entrada do sistema, é necessário criar outro sistema.

Nesse contexto, o paradigma da gestão social, por meio de um conceito de governança surge como oportunidade de construção de novos padrões para a prática da gestão local das águas.

“Governança, gestão e comitês de bacias são, respectivamente, conceitos, técnicas e instrumentos de uma política pública. A governança pode ser trabalhada como um recurso cognitivo, com a força de um paradigma, ajudando a construir leituras complexas da crise e encontrar soluções inovadoras e duradouras. A gestão, além de seu componente conceitual, pode ser trabalhada com uma técnica que inclua as atividades de planejamento e mediação”(SILVA, 2005).

O comitê deve ser visto como o principal instrumento de gestão social e compartilhada da água. Entre os países que implantaram esse modelo de gestão social dos recursos hídricos, está o Canadá, que legalizou e propõe e assume a governança como conceito estratégico que

reúne as atividades e os principais instrumentos de gestão, incluindo a gestão integrada da água e a sua cobrança. A Política de Águas do Québec apresenta em seu Capítulo 1 que a reforma para a governança da água é uma escolha estratégica.

A experiência apresentada por Browning *et al* (2006) no Comitê do Rio San Pedro (*Uper San Pedro Partenership* USSP) no Arizona, mostra o sucesso de formas de gestão social da água em nível local. A experiência local mostrou que, a partir de um nível de organização e participação social, o Comitê sentia a necessidade de modelos quantitativos que permitissem uma fácil integração entre as pessoas e a realidade de sua bacia hidrográfica. O modelo de suporte à decisão desenvolvido para o USSP possibilitou uma visualização dos impactos que determinadas ações poderiam causar à bacia, apresentado em um formato pedagógico, o qual poderia ser compreendido pelas pessoas do local.

2.2 Outorga de Recursos Hídricos para uso da Água

2.2.1 Marco legal

Segundo Thame (2000), no Brasil já existem dispositivos legais ligados ao controle e regulamentação do uso da água desde 1934, no Código das Águas. Esse código já pressupunha, como pode ser observado no art. 43, o princípio de controle de uso da água, o qual, contudo, nunca foi aplicado, devido a crença da inesgotabilidade dos recursos hídricos no Brasil.

“As águas públicas não podem ser derivadas para as aplicações da agricultura, da indústria e da higiene, sem a existência de concessão administrativa, no caso de utilidade pública e, não se verificando esta, de autorização administrativa, que será dispensada, todavia, na hipótese de derivações insignificante” (CÓDIGO DAS ÁGUAS, 1934, ART 43)

A Lei Federal nº 9.433/97 institui e regulamenta o instrumento de outorga de recursos hídricos, tendo como objetivos assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso à água, preservando o uso múltiplo desses

recursos, efetivando-se através de ato da autoridade competente do Poder Executivo Federal ou Estadual.

O parágrafo único da Lei nº 9.433/97 coloca: A outorga de uso dos recursos hídricos deverá preservar o uso múltiplo desse. Esse parágrafo representa, através de uma diretriz legal, o elemento base para qualquer tipo de aproveitamento para o planejamento da outorga, que deve estar voltado para viabilizar os usos múltiplos das águas.

Segundo Granziera (2001), a outorga de recursos hídricos constitui um exercício do poder de polícia administrativa. No direito brasileiro, compete ao detentor do domínio hídrico conceder ou autorizar essa utilização, conforme critérios legais ou regulamentares. A Lei de Águas n. 9.433/97 estabelece em seu art. 14: "A outorga efetivar-se-á por ato da autoridade competente do Poder Executivo Federal, dos Estados ou do Distrito Federal".

Os Planos de Recursos Hídricos exercem um papel fundamental nesse sentido e no de planejar estratégica e participativamente os critérios de outorga segundo as particularidades das bacias hidrográficas. O art. 13, da Política Nacional de Recursos Hídricos, dispõe que:

"Toda outorga estará condicionada às prioridades de uso estabelecidas nos Planos de Recursos Hídricos e deverá respeitar a classe em que o corpo de água estiver enquadrado e a manutenção de condições adequadas ao transporte aquaviário, quando for o caso" (LEI FEDERAL nº 9.433/97, ART. 13)

Granziera (2001) afirma que isso restringiu a discricionariedade dos órgãos competentes para outorgar o direito de uso da água, uma vez que devem ser consideradas as prioridades estabelecidas pelos comitês de bacias hidrográficas, à medida que devem ser consideradas as prioridades definidas nas decisões emanadas dos Comitês de Bacias Hidrográficas.

Segundo a Lei 9.433/97, "a água é um bem de domínio público", o que não significa que a água seja um bem dominical do poder público, tendo este o dever de ser o gestor desse bem, no interesse de todos. O art. 18 estabelece que: "A outorga não implica a alienação parcial das águas que são inalienáveis, mas, o simples direito de seu uso".

Diferentemente do Código das Águas, a questão da indissociabilidade dos parâmetros de qualidade e quantidade está integrada na legislação em vigor. A Lei 9.433/97, por meio do art. 11, referencia os objetivos legais da outorga: "O regime de outorga de direitos de uso de recursos hídricos tem como objetivos assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso a água" (LEI FEDERAL Nº 9.433/97, ART 11).

Estão sujeitos à outorga de uso de água pelo Poder Público, segundo o art. 12 da Lei nº 9.433/97, os seguintes usos dos recursos hídricos:

“Derivação ou captação de parcela da água existente em um corpo de água para consumo final, inclusive abastecimento público, ou insumo de processo produtivo; Extração de água de aquífero subterrâneo para consumo final ou insumo de processo produtivo; Lançamento em corpo d’água de esgotos e demais resíduos líquidos ou gasosos, tratados ou não, com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final; Aproveitamento dos potenciais hidrelétricos, e Outros usos que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um corpo d’água” (LEI FEDERAL Nº 9.433/97, ART 12).

Independem de outorga pelo Poder Público, conforme definido pela Lei:

“O uso de recursos hídricos para a satisfação das necessidades de pequenos núcleos populacionais, distribuídos no meio rural; As derivações, captações e lançamentos considerados insignificantes e as acumulações de volumes de água consideradas insignificantes” (LEI FEDERAL Nº 9.433/97, ART 12).

Em Santa Catarina, o Decreto Estadual nº 4.778, de 11 de outubro de 2006, regulamenta a outorga de direito de uso dos recursos hídricos no Estado. A Portaria SDS nº 025, de 3 de agosto de 2006, institui o Cadastro Estadual de Usuários de Recursos Hídricos – CEURH e dispõe sobre os procedimentos para cadastramento de usuários e regularização de usos dos recursos hídricos de domínio do Estado de Santa Catarina. A Portaria SDS nº 035, de 30 de outubro de 2006, dispõe sobre procedimentos de natureza técnica e administrativa a serem observados no exame de pedidos de outorga e dá outras providências.

2.2.2 Critérios de outorga de uso da água

A outorga visa dar uma garantia quanto à disponibilidade de água, assumida como insumo básico do processo produtivo e tem valor econômico para quem recebe, na medida em que oferece garantia de acesso a um bem escasso. No entanto, um grande complicador no processo de emissão de outorgas tem origem no fato de que o conceito de “disponibilidade hídrica” admite diferentes formulações, porque a vazão fluvial é uma variável aleatória, e não uma constante (SILVA e PRUSKI, 2005).

Dessa forma, existe uma variedade de critérios para volume de água outorgável legalmente instituídos nos estados brasileiros. Cada sistema teve que definir qual seria o índice hidrológico que seria utilizado como referência para padrões de vazão outorgável.

Segundo Arnéz (2002) pode-se classificar os critérios de outorga em estáticos e dinâmicos. Os critérios estáticos são fixos e estão baseados em valores obtidos com base em análise de séries históricas de vazões e, mesmo que representem o regime hidrológico da região, limitam superiormente o uso da água. Os critérios flexíveis buscam otimizar o uso da água, tentando-se evitar em épocas com maior disponibilidade hídrica, restrições que sejam desnecessárias aos usuários. Dessa forma, a vazão outorgável varia conforme a dinâmica hidrológica e meteorológica da bacia. Devido a fatores como a maior facilidade de definição e aplicação prática, os critérios fixos são os mais utilizados atualmente.

Ainda segundo Arnéz (2002), uma questão central na formulação e gerenciamento de um sistema de outorga se refere a definição da vazão outorgável. O mesmo autor sugere que a disponibilidade hídrica deve estar baseada em uma vazão de referência. Tem sido geralmente tomada a vazão cuja probabilidade de superação é de 90% do tempo $Q(90)$. Também utiliza-se as vazões mínimas de sete dias de duração e período de retorno de 10 anos $Q(7,10)$.

A vazão média de longo período (Q_m) espelha a disponibilidade hídrica média (ou esperada) da bacia contribuinte a um ponto da rede hidrográfica. Teoricamente, desconsiderando-se qualquer perda, é a maior vazão possível de ser regularizada através de uma barragem, por regularização total, numa bacia hidrográfica (TUCCI, 2004). Em postos fluviométricos com dados disponíveis de vazão, a vazão média de longo período é estimada pela média das vazões médias anuais de todos os anos.

A vazão mínima $Q(7,10)$ corresponde a um valor que, em média, a cada 10 anos, será igualado ou inferiorizado pelo escoamento médio de estiagem do rio em sete dias consecutivos (PAIVA e PAIVA, 2003).

Já a vazão média de permanência de 90% do tempo $Q(90)$ é um índice que retrata a permanência de uma dada vazão no tempo, ou seja, a probabilidade de que este valor ocorra segundo um período de retorno pré-estabelecido. A permanência da vazão pode ser avaliada para qualquer período de retorno que se deseje. Segundo Tucci (2004), essas vazões são determinadas através da curva de permanência de vazão, que é obtida da frequência da ocorrência de vazões de uma determinada bacia. Essa curva retrata a parcela do tempo em que uma determinada vazão é igualada ou superada.

2.2.3 Outorga de uso da água no Brasil

O levantamento publicado no livro "Sistemas de Suporte a Decisão para a Outorga de Direitos de Uso da Água no Brasil", em 2003, feito para o Banco Mundial, caracteriza a situação atual da implantação do instrumento da outorga no país. Os seis Estados mais avançados em relação à implantação deste instrumento são os Estados de São Paulo, Paraná, Minas Gerais, Ceará, Bahia e Pernambuco.

São Paulo foi o estado pioneiro no Brasil, emitindo outorgas de uso da água há mais de três décadas. O Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) é o órgão responsável pela emissão das outorgas, regulamentadas pela Lei n 7.663/91 e o Decreto 41.258 de 1996. A Portaria 717 do DAEE estabelece os requisitos para obtenção da outorga, constituindo um verdadeiro manual. Não existe uma vazão de referência oficial para os limites de outorga, sendo que na prática se utilizam 50% da Q_{7,10}. A outorga para o lançamento de efluentes, apesar de estar prevista em Lei, ainda não foi implementada.

As informações de base utilizadas são os dados de precipitação e vazão das estações da rede existentes no estado, base cartográfica na escala de 1:50.000 recentemente digitalizadas e utiliza-se a regionalização para estimativa em bacias sem dados (BANCO MUNDIAL, 2003).

O Estado de Minas Gerais ainda não tem um Plano Estadual de Recursos Hídricos e já emite outorga de uso da água desde 1997, por meio do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM). O modelo utilizado é o da outorga controlada por objetivos, sendo fixada vazão residual mínima, que deve ser mantida a jusante de cada captação (SCHVARTZMAN *et al.* 2002).

A vazão de referência oficial é a Q_{7,10}, e o máximo outorgável é 30% da Q_{7,10} para as águas superficiais. Em Minas Gerais, as análises se baseiam principalmente nos dados de regionalização das vazões da série histórica de 1939 a 1989. No que diz respeito ao lançamento de efluentes, o Estado ainda não emite outorgas IGAM (1998).

No Ceará, a Lei nº 11.996, de 1992, e o Decreto de 1994 regulamentam a outorga que é uma atribuição da Secretaria de Recursos Hídricos do Ceará (SRH/CE). Está estabelecido como critério para outorga de uso das águas superficiais um máximo de 9/10 da vazão de referência ou 1/3 no caso de lagoas. A Vazão de Referência no Estado é a Q₉₀ (SCHVARTZMAN *et al.*, 2002).

O Estado do Paraná já vem outorgando suas águas desde 1989. Entretanto, o Decreto que vai regulamentar o processo ainda não está oficializado, sendo que atualmente a outorga é dada com base em portarias da SUDERHSA, que é o órgão responsável pela outorga. A vazão de referência utilizada no Paraná é a Q7,10 para as águas superficiais. Enquanto não é publicado o manual de outorgas, utilizam-se como critério para vazão máxima outorgável, 50% da vazão de referência e, para regularização, exige-se uma vazão remanescente de 50% da Q7,10 (BANCO MUNDIAL, 2003).

De acordo com Schwartzman *et al* (2002), em geral, nos estados do Nordeste prevalecem vazões de referência associadas a um determinado nível de garantia, em geral, 90% de permanência (Q90). Nos Estados do Sul/Sudeste, prevalece o critério associado às vazões mínimas (Q7,10). Apesar de todas as legislações preverem a outorga para lançamento de efluentes, sua implantação ainda é muito incipiente. Dentre as razões levantadas, estão a falta de uma base de dados, a maior complexidade envolvida na análise integrada e a indefinição de critérios de outorga.

A Tabela 2 apresenta um quadro resumo dos critérios de outorga e as referências utilizadas pelos Estados pesquisados.

Tabela 2: Critérios de outorga utilizados em Estados Brasileiros

Estado	Referência	Critério	Lei Pol. Est.	Decreto
Rio Grande do Sul	ñ têm	ñ têm	10.350/94	37.033/96
Paraná	Q(7,10)	0,3	12.726/99	PO 06/96
São Paulo	Q(7,10)	0,5	7.663/91	41.258/96
Minas Gerais	Q(7,10)	0,3	13.199/99	PO010/98
Ceará	Q(90)	0,9	11.996/92	23.067/94
Bahia	Q(90)	0,8	6.855/95	6.296/97
Pernambuco	ñ têm	ñ têm	11.426/97	ñ têm

O Plano Nacional de Recursos Hídricos (Brasil, 2006) constata que foi verificado em todos os Estados uma grande carência de profissionais no que se refere à existência de equipes técnicas para a área de outorga. Outros aspectos a serem resolvidos são a carência de informações hidrológicas em pequenas bacias hidrográficas e a definição de vazões ecológicas, em decorrência da limitação da rede de monitoramento de qualidade das águas, bem como na escassez de informações sobre os aspectos bióticos e a capacidade suporte das bacias.

2.3 Sistemas de Suporte a Decisão para Outorga

2.3.1 Suporte a decisão para outorga

Segundo Porto e Azevedo (2002), qualquer elemento que ajude uma tomada de decisão pode ser considerado um Sistema de suporte a Decisão (SSD). O autor afirma também que uma definição mais específica relacionada à gestão de recursos hídricos é a seguinte: SSD são sistemas computacionais que têm por objetivo ajudar indivíduos ou grupos que tomam decisões na solução de problemas não-estruturados.

Considerando a estrutura proposta por Ribeiro e Lanna (2002), que apresentam a estrutura típica de um sistema de suporte à decisão, mostrada na Figura 1, este deve conter um módulo de interação com o usuário ou tomador de decisão, que está diretamente ligado a uma base de dados, uma base de modelos e à base de conhecimentos.

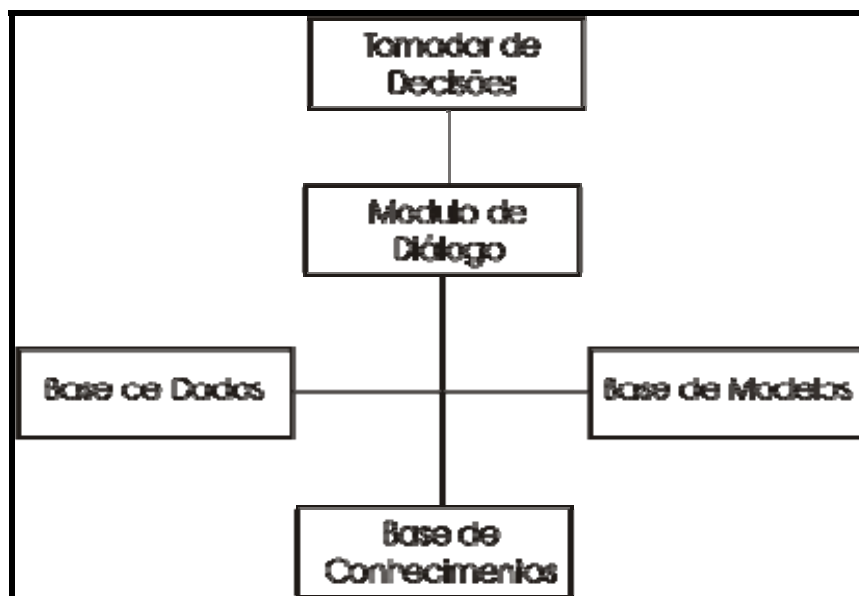


Figura 1: Estrutura típica de um sistema de suporte a decisão. **Fonte:** Ribeiro e Lanna (2002)

A outorga, se considerada de maneira pontual, pode ser avaliada de forma relativamente simples. Porém, na ótica da gestão integral da bacia hidrográfica, torna-se bastante complexa, haja vista interferências em pontos a montante e a jusante do local outorgado, como nesse próprio local, em função de novas demandas ou requisitos de quantidade ou qualidade (ROCHA, 2002).

A tomada de decisões em recursos hídricos deve contemplar os aspectos hidrológicos, hidráulicos, de qualidade da água, ambientais, econômicos, legais, políticos e sociais que são inconstantes no tempo e passíveis de modificações constantes. Conforme a demanda de água cresce e, conseqüentemente, sua disponibilidade diminui, esse processo tende a se tornar cada vez mais complexo (RIBEIRO e LANNA, 2002).

Nas últimas décadas, a tecnologia de informação, associada a grande quantidade de modelos de simulação matemática, vem fazendo prosperar uma metodologia de auxílio à tomada de decisões baseada no apoio de modelos matemáticos e banco de dados, facilitando a interatividade entre o usuário e o computador. Essa metodologia é conhecida genericamente como sistema de Suporte a Decisão e vem sendo empregada em problemas complexos, como é o caso do gerenciamento de recursos hídricos (RIBEIRO e LANNA, 2002).

Para implementação de um sistema de outorga de uso da água, é importante desenvolver ferramentas de apoio e suporte à decisão para apoiar a implementação do processo de outorga em uma bacia hidrográfica e garantir o uso sustentável de seus recursos hídricos, segundo as prioridades previstas em lei.

Segundo Ferraz e Braga (1998), juntamente com os aspectos legais da gestão de recursos hídricos, é necessário o suporte técnico para viabilizar o processo de tomada de decisões que envolve a emissão de outorgas pelo órgão responsável. Essa integração pode ser viabilizada por ferramentas que possibilitem análise pontual e global do sistema para garantir o suprimento das demandas e avaliar o impacto do uso dos recursos hídricos na bacia.

Modelos de suporte à decisão usualmente envolvem um sistema com diversos componentes de modelos matemáticos, utilizando plataformas de SIG e bases de dados, integradamente. Os modelos de simulação para o gerenciamento de recursos hídricos estão geralmente baseados no balanço hídrico do volume de água dentro da bacia hidrográfica, de forma a permitir seu monitoramento. Esses modelos utilizam técnicas de programação linear e sistemas dinâmicos para resolver os algoritmos de simulação.

A programação linear é a técnica matemática geralmente utilizada para processos de otimização e modelagem de sistemas de recursos hídricos e reservatórios, assim como também de outras áreas como negócios, engenharia em geral e ciências. As técnicas de rede de fluxo utilizadas pelos modelos estudados são uma variação de métodos de programação linear (LABADIE, 2004).

Outro método completamente diferente da programação linear, a Programação Dinâmica, pode ser utilizado para a elaboração de modelos de suporte à decisão. A resolução

de sistemas complexos através de programação dinâmica utiliza uma estratégia de solução baseada na decomposição seqüencial do problema em estágios, que são conectados por variáveis do sistema. Os estágios geralmente são os intervalos de tempo considerados e as variáveis elaboradas pelo programador (YAKOWITZ, 1982)

Silveira *et al.* (1998), desenvolveram uma metodologia considerando aspectos práticos e conceituais para o estabelecimento de um sistema informatizado para outorga de recursos hídricos na Bacia do Rio Santa Maria, no Rio Grande do Sul. Esse sistema está baseado fundamentalmente em duas condições básicas para a gestão da oferta de água na bacia: as disponibilidades hídricas e as demandas hídricas.

Nesse sistema, o autor sugere que o modelo de apoio à instrução de um processo de outorga deve permitir o desenvolvimento das seguintes funções: cálculo da disponibilidade hídrica para a seção de referência, em que o usuário deseja fazer uso da água; e a atualização das disponibilidades hídricas para os trechos do rio a jusante dos determinados usos, pois cada usuário é também usuário dos trechos a jusante dependendo da taxa de retorno de água utilizada (que varia conforme o tipo de uso).

O equacionamento proposto por Silveira *et al.* (1998) é demonstrado na equação (1):

$$\sum (q_i - q_d) \geq q_{res} \quad (1)$$

Onde: q_i é a vazão demandada para outorga, q_d a vazão disponível no curso d'água e q_{res} a vazão mínima residual no curso d'água que é estabelecida segundo os critérios de outorga e vazões de referência adotados.

De maneira semelhante, a proposta na equação (1), Ferraz e Braga (1998) estabelecem como equação básica a equação (2) abaixo:

$$\sum [(\alpha_i) * q_{capta_{i,j}}] \leq Q_{máxoutorgavel} \quad (2)$$

Onde: q_{capta} é a vazão captada pelo usuário i na seção j ; α é o coeficiente de uso da vazão de captação do usuário i ; $Q_{máx outorgável}$ é a vazão máxima outorgável na seção j .

Para espacializar a disponibilidade hídrica dentro da bacia utiliza-se o conceito de seções de referência, trechos de controle ou pontos de controle. Ribeiro e Lanna (2003), por exemplo, afirmam que, para a simulação do sistema de outorga, é preciso definir seções, ou

pontos de controle, a serem analisadas. Essas seções são os pontos em que se deseja conhecer a disponibilidade hídrica, a vazão outorgável, as demandas e a vazão a ser outorgada.

Estando a rede fluvial dividida em seções de referência, que na prática são divididas em função da possibilidade de estimativa de suas vazões naturais e conseqüentemente da disponibilidade hídrica, podem-se utilizar esses pontos para avaliação das demandas e disponibilidades presentes na sub-bacia de contribuição de cada trecho.

Ferraz e Braga (1998) seguiram os seguintes passos para atingir sua proposta metodológica de um sistema de suporte de decisão aplicado à gestão de outorga: definição da área de estudo; cadastro de usuários ou potenciais; escolha dos *softwares* a serem utilizados; preparação prévia e tratamento dos dados a serem utilizados; definição da escala de trabalho e digitalização das cartas topográficas; importação dos dados para o SIG; geração de planos de informação que permitem visualizar todos os usuários da bacia; caracterização da rede hidrográfica; sobreposição dos planos de informação; espacialização dos resultados do modelo de simulação de qualidade de água e vazão.

O sistema de apoio ao gerenciamento dos recursos hídricos proposto por Silveira *et al.* (1998) está organizado segundo quatro macroblocos: Sub-sistema de cadastro; Sub-sistema de informações territoriais; Sub-sistema de consulta; e Sub-sistema de apoio a outorga.

O sub-sistema de cadastro armazena todas as informações relativas aos usuários de água da bacia, das seções hidrológicas de referência, de postos fluviométricos e pluviométricos, das barragens, poços e demais informações. O sub-sistema de informações territoriais constitui a base cartográfica da bacia, contendo informações como rede hidrográfica, divisores hidrográficos e demais informações pertinentes ao sistema de informações geográficas SIG.

O sub-sistema de consulta permite e estrutura a pesquisa em padrão SQL em todos os bancos de dados do sistema; e o sub-sistema de outorga tem seu desenvolvimento baseado nos critérios teóricos definidos para o modelo para a simulação da disponibilidade para outorga.

Já Ribeiro e Lanna (2003) apresentam em sua proposta metodológica, os seguintes passos para simulação da aplicação do instrumento de outorga em uma bacia hidrográfica: análise de dados fluviométricos para a bacia; identificação dos usuários, demandas e cenários; definição dos pontos de controle (PC); definição dos usos prioritários; proposta dos critérios de vazão máxima outorgável; avaliação dos critérios de vazão máxima outorgável.

Para avaliação da outorga para emissão de efluentes nos corpos d'água se adiciona, aos passos descritos acima, a identificação dos efluentes lançado em cada PC, a identificação

da concentração máxima permitida pelo enquadramento no trecho, o cálculo da vazão necessária para diluir os efluentes, e a definição de critérios de racionamento em períodos de escassez de água.

Azevedo *et al.* (1998) desenvolveram uma metodologia para um sistema de apoio à decisão para o gerenciamento integrado de quantidade e qualidade de água para a Bacia do Rio Piracicaba em São Paulo. Nessa metodologia, utilizaram a separação dos aspectos de qualidade e quantidade em subproblemas distintos, resolvidos simultaneamente através do modelo QUAL2E e do MODSIM, que, com um terceiro módulo para avaliação, permite uma análise conjunta dos objetivos de qualidade e quantidade.

Para avaliação do lançamento de efluentes, Silveira *et al* (1998) afirmam que deve-se utilizar o critério da vazão de diluição necessária para absorver as cargas poluidoras do respectivo despejo, em relação aos índices encontrados nas seções de referência.

Conforme utilizado para a avaliação da disponibilidade hídrica nas seções de referência, estas devem possuir a avaliação de parâmetros de qualidade da água de interesse relevante, ou, pela combinação desses, de índices de qualidade da água. Esses coeficientes devem ser estabelecidos por estudos de modelagem matemática e transpostos para a avaliação nas seções de referência (SILVEIRA *et al.*, 1998).

A Secretaria de Recursos Hídricos do Estado do Pernambuco (SRH/PE) desenvolveu estudos de modelos de qualidade da água para aplicação ao gerenciamento de recursos hídricos, constantes em Araújo (2002), no “Estudo de Modelos de Qualidade da Água como Instrumento de Controle Ambiental e Gerenciamento de Recursos Hídricos”, avaliando diversos modelos de qualidade da água e sua viabilidade de implantação.

Na ausência de estudos específicos sobre a capacidade depurativa de corpos d’água, segundo Ribeiro e Lanna (2003), algumas hipóteses podem ser adotadas: há autodepuração do efluente no próprio ponto de lançamento ou em torno deste; não há autodepuração do efluente no ponto de lançamento, mas nas seções a jusante; não há depuração do efluente ao longo do curso d’água. Neste último caso, o usuário se apropria da vazão de diluição, não só no ponto de lançamento, mas em todo o curso do rio.

A utilização de Sistemas de Informação Geográfica para o gerenciamento de recursos hídricos é uma prática que já vem rendendo resultados, e atualmente é parte indissociável da gestão dos recursos hídricos, de forma que a escolha do modelo utilizado está também diretamente relacionada a sua integração ao SIG. Mendes (1996) desenvolveu uma

metodologia para a integração de modelos hidrológicos e sistemas de informações geográficas, além da construção de uma fundamentação teórica.

Recentemente, a integração do desenvolvimento tecnológico da informática e do monitoramento remoto à cartografia, assim como o uso de modelos matemáticos em ambientes de SIG geraram o surgimento de técnicas de geoprocessamento avançadas. Isso representa hoje um conjunto de ferramentas poderosas, especialmente adequadas à gestão dos recursos naturais, FREITAS *et al.* (1999).

Dessa forma, a integração do Banco de Dados, do Sistema de Informação Geográfica, dos modelos matemáticos e dos critérios legais de referência é a base para a implementação de um sistema de outorgas eficiente e coerente com a realizada da bacia hidrográfica.

O Sistema de Informação Geográfica (SIG) é uma ferramenta tecnológica, que atualmente é amplamente utilizada nos mais diversos campos de ciência e engenharia. O SIG é uma ferramenta de uso múltiplo, desenvolvida com o uso da informática para processar informações distribuídas no espaço em meio digital. Suas capacidades básicas incluem o pré-processamento de dados, em um formato adequado para análises posteriores; fornecer um ambiente para as análises espacial, temporal e para a modelagem de dados; pós-processamento de dados analisados previamente e sua disponibilidade em um formato adequado para apresentação dos resultados (LONGLEY *et al.*, 2005).

A utilização de um SIG em estudos ambientais traz à tona a capacidade de aproveitar uma representação espacial e geográfica das informações tradicionais utilizadas nos estudos de análise ambiental, como os aspectos relevantes do meio físico, biótico, social e econômico. Esse sistema está estruturado em *layers* de informação, relativos aos diversos aspectos estudados, todos georreferenciados e *linkados* espacialmente.

2.3.2 Modelos de rede de fluxo para alocação de água

Os modelos de rede de fluxo já vêm sendo aplicados com êxito em sistemas de análise, planejamento e gerenciamento de recursos hídricos. Os modelos aplicados e desenvolvidos por Israel e Lund (2001), Andreu *et al* (1996), Porto *et al* (2006), Wurbs (2005), Lopes e Freitas (2006) e Roberto e Porto (2006) mostram uma grande variedade de tipos diferentes de modelos de rede de fluxo já implantados.

Modelos de redes de fluxo como o MODSIM também já foram utilizados com êxito em uma grande quantidade de bacias hidrográficas como demonstrado por Azevedo *et al* (2000), Daí e Labadie (2001), Fredericks *et al* (1998), Gibbens e Goodman (2002).

Segundo Porto *et al* (2002), os modelos de rede de fluxo são uma classe de modelos de simulação que contém um algoritmo de otimização. Esses modelos possuem duas características importantes, o balanço entre a oferta e demanda e ganho ou perda no transporte. Se não ocorrem perdas ou ganhos no transporte, a rede de fluxo é considerada pura. Uma rede de fluxo sem déficit é aquela na qual a oferta total é igual a demanda total.

A simulação é uma técnica de modelagem que é utilizada para aproximar o comportamento de um sistema no computador, representando todas as características do sistema por uma descrição matemática (AZEVEDO *et al* 2002). Os modelos de Simulação são particularmente atrativos para fornecer respostas e a performance do sistema de recursos hídricos diante de diversas estratégias operacionais, Labadie (1998). São também utilizados por fornecer respostas do sistema para diversos dados de entrada, incluindo regras de decisão, e permitem ao decisor examinar as conseqüências de vários cenários de um sistema existente ou de um sistema implementado.

Segundo Porto e Azevedo (2002), as características que tornam atrativa a utilização de redes de fluxo para análise de sistemas hídricos são:

- Na grande maioria dos casos, pode-se representar um sistema de recursos hídricos de forma bastante complexa.
- Os modelos de redes de fluxo possuem a flexibilidade característica dos modelos de simulação, podendo assim representar o comportamento de um sistema de recursos hídricos de forma bastante complexa.
- Modelos de rede de fluxo incluem também algoritmos de otimização que minimizem o custo total da rede, ou seja, determinam os fluxos em todos os arcos de tal forma a somatória dos custos em toda a rede seja mínima.

Em resumo, segundo Porto (2003), os modelos de rede de fluxo reúnem características das técnicas de simulação e otimização. As características de flexibilidade e adaptabilidade dos modelos de simulação e otimização são quase que integralmente preservadas nos modelos de rede de fluxo, ao mesmo tempo que o algoritmo de otimização, elimina uma parte considerável dos trabalhosos e demorados processos de tentativa e erro.

Dentre os modelos de redes de fluxo mais utilizados para o gerenciamento de recursos hídricos estão o MODSIM, o AQUATOOLS, o MIKEBASIN e o AQCUNET.

O modelo MODSIM foi desenvolvido pela Colorado State University (CSU) e está baseado no formato de programação orientada a objeto e já foi aplicado a diversos estudos, inclusive do Bureau of Reclamation dos Estados Unidos. Este modelo é representativo de um grupo de modelos de alocação de água baseados em programação de redes de fluxos. A solução através de algoritmos de linha de fluxos, realizada com uma seqüência de interações para a convergência do cálculo de mínimo custo, permite ao usuário uma enorme flexibilidade para modelar e simular operações complexas em sistemas de recursos hídricos.

O modelo AQUATOOL foi desenvolvido pela Universidade Politécnica de Valencia (UPV), Espanha, inicialmente para o planejamento e tomada de decisões em bacias complexas, com múltiplos reservatórios, demandas e interações com aquíferos. Com o passar do tempo, foram incorporados ao sistema outros módulos para permitir o seu uso também no estágio de operação de sistemas de recursos hídricos e não só planejamento. O modelo foi apresentado por ANDREU, CAPILLA e SANCHIS (1996) na publicação *Journal of Hydrology*, onde os autores apresentam a estrutura básica do programa e seus módulos de cálculo e simulação.

O modelo MIKE BASIN é desenvolvido pelo DHI Water and Environment, antigo Danish Hydraulic Institute. Esse modelo é um *software* comercial, que é vendido em todo o mundo pelas filiais do Instituto. É uma ferramenta de gerenciamento de recursos hídricos, baseada em uma representação da disponibilidade de água e os seus potenciais usuários, na escala da bacia hidrográfica.

O *software* com uma atraente interface gráfica é um modelo de simulação para alocação de água, representando a hidrologia de uma bacia hidrográfica no espaço e no tempo. Tecnicamente, é formado por um modelo de rede em que os rios e os seus principais tributários são representados por uma rede de tramos e nós. O modelo MIKEBASIN permite a construção de informação sobre uma plataforma GIS, atualmente utilizando a plataforma ARCGIS. Fundamentalmente, o modelo adiciona a capacidade de inclusão da dimensão temporal para a informação espacial armazenada no sistema GIS.

O modelo AcquaNet, desenvolvido pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP), pelo Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões (LABSID), é um modelo de redes de fluxo, muito similar ao MODSIM da Colorado State University (CSU), já mencionado anteriormente. No entanto, o ACQUANET está disponível no idioma português e possui outros módulos para cálculos adicionais que o MODSIM não contempla, como, por exemplo, o módulo de qualidade de água e de reservatório no solo para irrigação.

Funciona com uma estrutura modular incorporando modelos matemáticos desenvolvidos para analisar diferentes problemas relacionados ao aproveitamento de recursos hídricos. Essa estrutura modular é constituída atualmente de um módulo base, denominado Acquanet e de módulos para alocação de água, avaliação da qualidade da água, determinação de alocação de água para irrigação, produção de energia elétrica e consideração de valores econômicos nas decisões de alocação. O módulo base do Sistema de Suporte a Decisão é o responsável pela criação/edição do traçado, leitura gravação dos projetos em estudo, definição do módulo atualmente ativo e também pela integração e comunicação entre os diferentes módulos.

Os módulos utilizam um algoritmo de rede de fluxo para a solução dos problemas e funcionam de forma independente, de acordo com a necessidade do analista. O sistema dispõe de um banco de dados que armazena os dados de entrada dos modelos, assim como os resultados gerados por eles. Esse banco de dados é parte fundamental em todo o processo de comunicação entre o módulo base e os outros módulos (PORTO e AZEVEDO, 2002).

2.3.3 Modelos Internacionais de gerenciamento de recursos hídricos

Foram estudados dois modelos de gestão de recursos hídricos no nível internacional. Um modelo de gestão participativa da água da bacia hidrográfica do Rio Upper San Pedro e um modelo de gestão integrada da água na Espanha, na bacia do rio Tajo.

2.3.3.1 O modelo DSS da Upper San Pedro Partnership, EUA.

A Bacia Hidrográfica do Alto Rio San Pedro (Upper San Pedro) está localizada na região semi-árida da fronteira sul do Arizona – Estados Unidos, e norte do Estado de Sonora-México. A Upper San Pedro Partnership (USPP) é um consórcio de 21 agências e organizações trabalhando juntas para alcançar o gerenciamento sustentável da água na bacia hidrográfica. O principal propósito da organização é coordenar e cooperar para a identificação, priorização e implementação de políticas e projetos eficazes para melhoria do gerenciamento dos recursos hídricos na bacia hidrográfica, no sentido de compatibilizar as

demandas de água de cidades como Sierra Vista e as necessidades ecológicas do Rio San Pedro (RICHTER, 2006).

Inicialmente, o foco do desenvolvimento nos modelos matemáticos para gestão da água estava voltado para complementar e detalhar o modelo de gerenciamento de águas subterrâneas da bacia, uma das principais fontes de água para atender os diversos usos. Com o progresso do trabalho, os membros do comitê perceberam a importância de um modelo que pudesse integrar as componentes hidrológicas, humanas e econômicas e sua relação com o ciclo hidrológico na bacia e pudesse responder a perguntas dos membros do comitê de forma didática e cientificamente embasada (BROWNING *et al*, 2006).

Foi construído então um modelo que analisasse a relação custo benefício de diversas práticas de gerenciamento sustentável da água dentro da bacia hidrográfica. O principal objetivo desse modelo é dotar os gestores de água com a informação técnica necessária para subsidiar a escolha de medidas de conservação e sustentabilidade de longo prazo do sistema do Rio San Pedro. Esse modelo vem ao encontro do objetivo do Consórcio no sentido de assegurar uma provisão de água subterrânea adequada a garantir em longo prazo as necessidades razoáveis para suprir as demandas dos habitantes e ecossistemas (BROWNING *et al*, 2006).

A construção do modelo é um processo completamente participativo, no qual a cada reunião de capacitação é realizado o intercâmbio técnico entre os desenvolvedores do modelo e os usuários, membros do comitê gestor da bacia. Dessa forma, a equipe de pesquisa pode incorporar as sugestões dos usuários às novas versões do modelo.

2.3.3.2 O modelo DSS da Confederación Hidrográfica del Tajo

O Rio Tajo é o rio mais longo da península ibérica e o terceiro em superfície total, como em vazões, depois do Rio Ebro e o Rio Duero. É o rio que tem o maior peso populacional da Espanha e de toda a Península. Pode ser considerada também a bacia hidrográfica mais solidária no que diz respeito a transposições de água para outras bacias, segundo o volume que cede para outras bacias menos favorecidas hidricamente. É também a bacia hidrográfica mais regulada da Península (CHTAJO/MMA ES). As confederações hidrográficas na Espanha estão concebidas pela Lei de Águas Espanhola (em seus artigos 19 e

posteriores) como os organismos responsáveis fundamentalmente da administração hidráulica e hidrológica das bacias hidrográficas intercomunitárias.

Os usos da água na Bacia do Rio Tajo seguem os padrões de uso da água internacionais. Existem demandas para o uso de irrigação, abastecimento humano, uso industrial, incluindo a refrigeração de usinas nucleares, além de abastecer um importante setor de produção hidrelétrica. As áreas irrigadas somam algo em torno de 231.310 ha, com uma demanda geral de 1947×10^6 m³/ano. As demandas municipais e industriais demandam volumes da ordem de 751×10^6 m³/ano e merecem especial atenção, envolvendo a garantia de abastecimento de aproximadamente 6 milhões de habitantes, incluindo a capital do país, Madrid. Existe também um sistema de transposição de águas, o Sistema Tajo-Segura. A água é elevada 262 metros e depois transportada por um sistema de adução por aqueodutos de 250 km de comprimento, com capacidade de 33 m³/s, que leva água do Tajo para o Rio Segura (ANDREU, CAPILLA, SANCHIS, 1996).

Considerando a importância das demandas de água já existentes no Rio Tajo e a dependência vital da Bacia do Rio Seguro com a água vinda do Rio Tajo, tornou-se crucial o desenvolvimento de um planejamento estratégico de operação e uso da água da bacia. Esse planejamento estratégico busca ser eficiente, integral e sustentável.

Em 1994, foi dado início à implementação do modelo AQUATOOL para a Bacia do Rio Tajo pela Confederacion Hidrográfica. Em poucos meses, os técnicos da Agência já podiam usar uma versão preliminar para o gerenciamento dos recursos hídricos na bacia. Através de um processo construtivo e retroativo, o modelo está ainda sendo desenvolvido com a adição de novos módulos de cálculo e inclusão de particularidades da bacia hidrográfica ao sistema (ANDREU, CAPILLA, SANCHIS, 1996).

O modelo utilizado na fase de planejamento foi composto de 92 nós, 46 reservatórios, 50 pontos de demandas. A simulação compreendia 300 nós, 49 reservatórios, a inclusão de um aquífero e mais de 100 pontos de demanda. Quando o modelo estiver completo e calibrado, a perspectiva é que as conclusões do Grupo Técnico da Confederación que utiliza o modelo para o planejamento de recursos hídricos na bacia possam embasar o Plano Hidrológico da Bacia do Rio Tajo para a próxima década (ANDREU, CAPILLA, SANCHIS, 1996).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O Capítulo de materiais e métodos apresenta a caracterização da área de estudo e o conjunto de materiais, metodologias e produtos necessários para a obtenção dos resultados da pesquisa. Neste Capítulo, estão incluídos também produtos que são resultados preliminares obtidos dentro da metodologia da pesquisa e foram construídos para a aplicação do modelo de suporte a decisão. Estes resultados foram incluídos na metodologia, pois por si só, não justificavam a realização do trabalho.

3.1 Modelo Conceitual

A avaliação dos critérios de outorga para a Bacia Hidrográfica do Rio Canoas, assim como a elaboração dos cenários de uso da água na bacia hidrográfica foi realizada através da aplicação de um modelo de rede de fluxo, o AcquaNet. Para a estruturação da rede de fluxo e aplicação do modelo na área de estudo, se fazem necessários dados específicos do local, que são os seguintes: a caracterização hidrográfica da bacia, os dados da disponibilidade hídrica, as demandas de uso da água e os critérios a serem adotados para as simulações.

O modelo conceitual foi desenvolvido e utilizado para simplificar a representação dos fenômenos de disponibilidade e usos da água na bacia hidrográfica. A Figura 2 apresenta esquematicamente os aspectos considerados na análise.

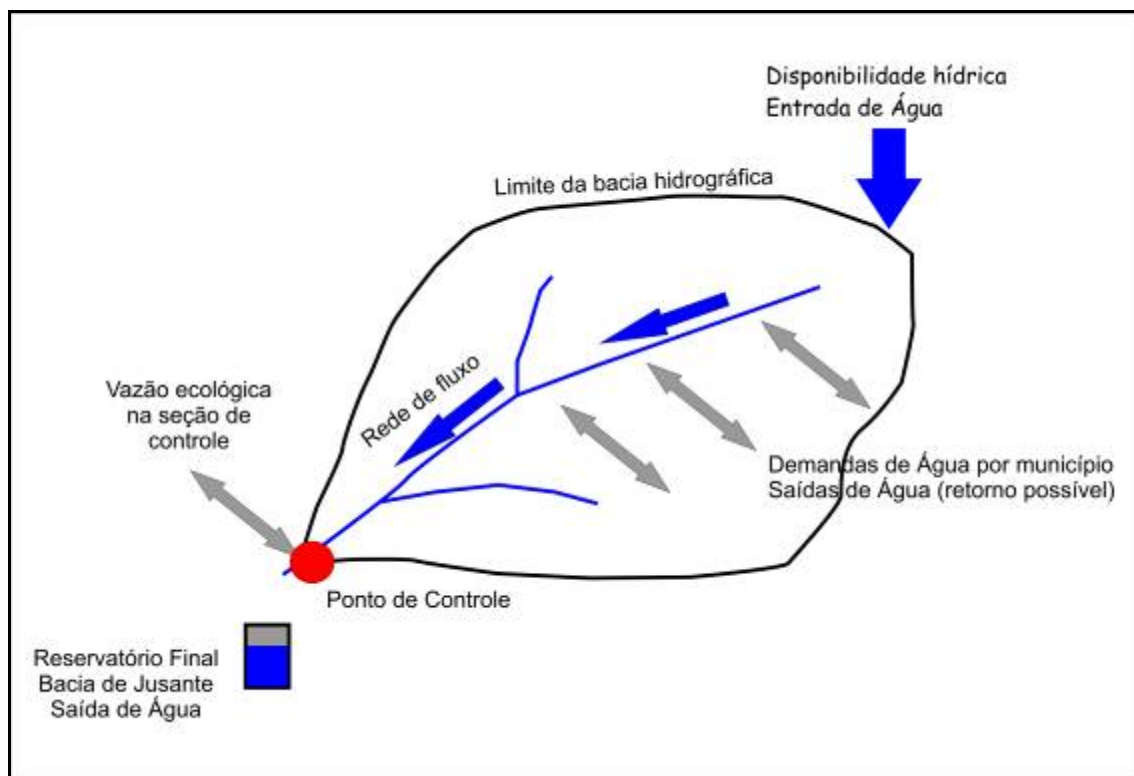


Figura 2: Modelo conceitual utilizado na pesquisa.

A demarcação dos limites do modelo utiliza o conceito de bacias hidrográficas. As entradas de água consideradas no sistema foram a disponibilidade hídrica para cada Sub-bacia, segundo o critério a ser analisado. As demandas de água representam as saídas de água do sistema e estão espacializadas na bacia hidrográfica, divididas por município e tipo principal de uso. Foram utilizados pontos de controle para a determinação das bacias hidrográficas de estudo e avaliação de disponibilidade para vazões ecológicas. A vazão afluente é transmitida à bacia de jusante ou ao reservatório final

Para organizar, estruturar e preparar esses dados, foi utilizado um Sistema de Informações Geográfico (SIG). O modelo de rede de fluxo foi montado utilizando o banco de dados gerados pelo SIG. Com o modelo de rede de fluxo estruturado, as simulações foram realizadas para os diferentes cenários analisados. Os resultados do modelo foram então organizados em uma base de dados e introduzidos no SIG novamente, para análise espacial e elaboração de cartas temáticas. A Figura 3 apresenta o modelo metodológico utilizado.

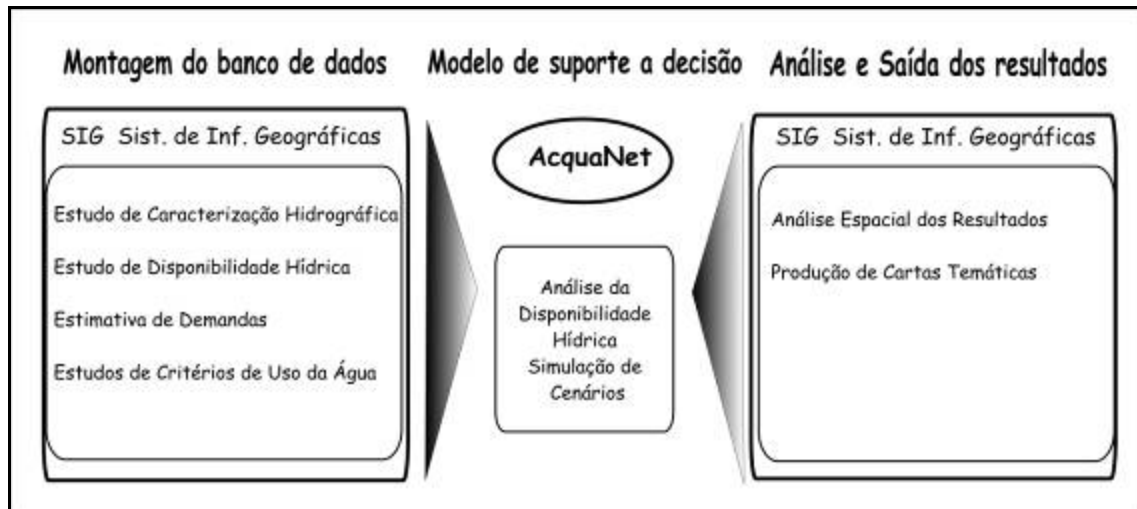


Figura 3: Modelo metodológico utilizado na pesquisa.

3.2 Estruturação do banco de dados geográfico

Foi utilizado um Sistema de Informações Geográficas (SIG) para o levantamento, edição e processamento dos dados de entrada do modelo de suporte a decisão escolhido. Os diversos tipos de informações existentes estão disponíveis em fontes independentes e desconectadas. Portanto, a tarefa de organização e montagem de um banco de dados com as informações necessárias para o estudo se torna uma tarefa trabalhosa e delicada. Para atingir esse objetivo, a funcionalidade do SIG é utilizada para a integração dos diversos aspectos estudados, permitindo, assim, uma ampla gama de relações entre todos esses aspectos, sejam eles sociais, ambientais ou econômicos (LONGLEY *et al*, 2002).

A montagem e estruturação desse banco de dados no sistema de informação geográfica está baseada no sistema proposto por Maidment (2002), o ArcHydro, que é um modelo de banco de dados pré-construído para sistemas de informações hidrológicas. Segundo o autor, o ArcHydro é um modelo geoespacial e temporal para trabalhar com recursos hídricos, utilizando o *software* ArcGIS (Figura 4).

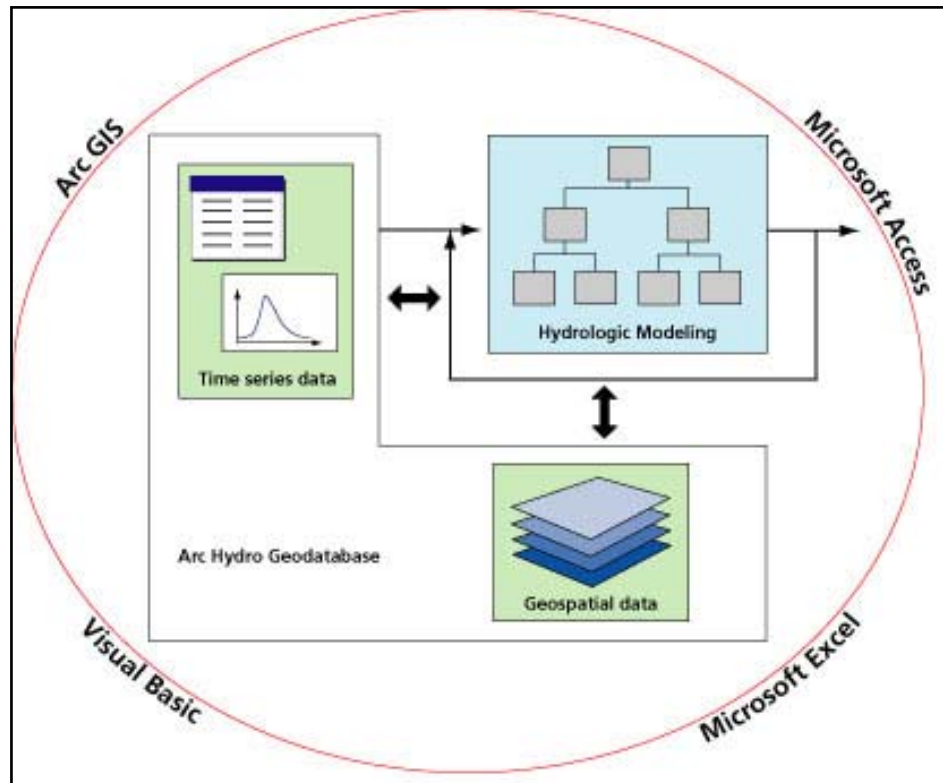


Figura 4: Modelo conceitual proposto por Maidment (2002) , para o ArcHydro. Fonte: Maidment (2002).

Este Sistema de Informações Geográficas (SIG) foi elaborado para gerenciar espacialmente o banco de dados e auxiliar a visualização das informações e análises na bacia hidrográfica. A base de dados foi constituída de informações utilizadas para: caracterização da área de estudo, estimativa de demandas de uso da água, caracterização hidrográfica, análise de disponibilidade hídrica e análise dos critérios de referência legal. O Quadro 1 apresenta todos os “layers” utilizados como base para a realização da pesquisa.

Quadro 1 – Dados utilizados para estruturação do Sistema de Informação Geográfica.

DADOS DE IMAGENS E FOTOGRAFIAS AÉREAS
<ul style="list-style-type: none"> Imagens Satélite CBERS, órbitas 156-30, 156-31, 156-32, 157-30, 157-31, 158-30, 150-31, passagens entre 2003 e 2005.
DADOS DE MAPEAMENTOS TEMÁTICOS
<ul style="list-style-type: none"> HIDROGEO - Sistema de Informações Georeferenciadas de Energia e Hidrologia, ANEEL. HIDROWEB - Sistema de Informações Hidrológicas, ANA. Figura de Unidades Hidrográficas do Estado de Santa Catarina, Epagri/SDS. Figura Geológico de Santa Catarina, Esc. 1:500.000, 1986. Figura da Rede Hidro Meteorológica do Estado de Santa Catarina, ANA. Atlas de Santa Catarina, GAPLAN, SC. Figura Esquemático do Sistema Aquífero Guarani. CAS/SRH/MMA.
DADOS DE BASES CARTOGRÁFICAS
<ul style="list-style-type: none"> Cartas Topográficas analógicas do IBGE em escala 1:50.000, IBGE 1:100.000. Fonte: Mapoteca Topográfica Digital de Santa Catarina, Epagri/IBGE, 2004. Modelo Digital de Elevação SRTM/NASA - SC, ajustado Epagri. Figura do Meio Físico do Estado de Santa Catarina, ANA. Figura das Regiões Hidrográficas do Estado de Santa Catarina, Esc. 1:500.000, SDS.
DADOS DE ESTUDOS PRÉVIOS
<ul style="list-style-type: none"> Figuras do Relatório de regionalização de vazões do rio Uruguai do IPH.
DADOS DE ANÁLISES REALIZADAS
<ul style="list-style-type: none"> GRID de precipitação anual média areal Delimitação automática de Bacias hidrográficas utilizadas Base vetorial artificial de hidrografia segundo contribuições desejadas Isoietas de precipitação média anual Modelo digital de elevação com <i>fill</i> para retirada de <i>sinks</i>. Modelo digital de redes de fluxo Modelo digital de fluxo acumulado Modelo digital de Vazões mínimas Q7,10 Modelo digital de Vazões médias Modelo Digital de Disponibilidade Hídrica Modelo Digital de espacialização do estudo da regionalização de vazões elaborado pela SDS.
DADOS COLETADOS EM CAMPO
<ul style="list-style-type: none"> Localização geográfica adquirida com a utilização de um GPS de pontos de relevante interesse para o estudo.

O trabalho referente ao Sistema de Informação Geográfica foi realizado utilizando o *software* comercial ArcGIS 9.0 da ESRI, através da licença universitária disponibilizada pelo Instituto de Pesquisa *Sustainability of Semi Arid Hydrology and Riparin Àreas* (SAHRA), na Universidade do Arizona, durante período de intercâmbio de cooperação técnica.

Todas as informações utilizadas foram obtidas de bases oficiais, sendo que algumas já estavam georreferenciadas e outras tiveram que ser digitalizadas e/ou georreferenciadas. Foi utilizado o sistema de projeção *Transverse Mercator*, com o Datum *SAD 1969 UTM Zone 22S*, coordenadas em que estão apresentadas todas as Figuras do trabalho e que são resultados do SIG.

3.3 Área de estudo

Segundo o Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH, 2006), o Brasil está dividido em 12 Regiões Hidrográficas (RH) dentro do território nacional. A divisão hidrográfica nacional está apresentada na Figura 5, com destaque para a Bacia Hidrográfica do Rio Uruguai em azul escuro, onde está inserida a Bacia Hidrográfica do Rio Canoas (delimitada em vermelho), área em estudo pela pesquisa. A Bacia do Rio Uruguai, em território brasileiro, é a que drena a região norte do Rio Grande do Sul e o oeste de Santa Catarina, em uma extensão de 177 mil km². Os formadores do rio Uruguai estão em Santa Catarina e são os rios Pelotas e Canoas, que têm suas nascentes nas Serras Geral e do Mar, com altitudes que chegam a quase 2.000 m (SDM, 1997).

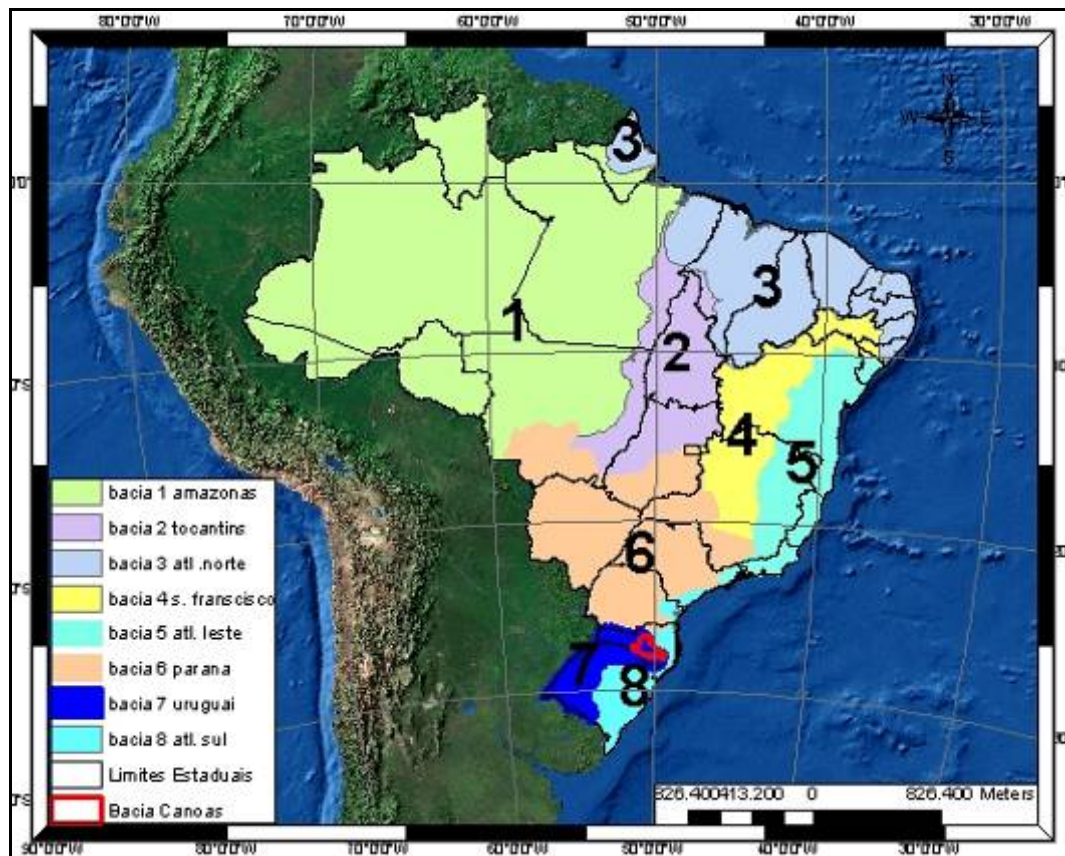


Figura 5: Contexto Hidrográfico Nacional, com destaque para a Bacia Hidrográfica do Rio Uruguai em Azul e a Bacia Hidrográfica do Rio Canoas, delimitada em vermelho.

A rede hidrográfica do Estado de Santa Catarina apresenta dois grandes sistemas independentes de drenagem, o sistema integrado da vertente interior, drenando no sentido predominante oeste, comandado pela bacia Paraná-Uruguai e o sistema de drenagem da vertente atlântica, formado por conjunto de bacias isoladas costeiras.

A Bacia Hidrográfica do Rio Canoas está situada inteiramente no Estado de Santa Catarina, em sua Região Hidrográfica (RH) número 4, Planalto de Lages, da qual fazem parte o Rio Canoas e o Rio Pelotas. A Figura 6 apresenta a localização da Bacia do Rio Canoas no Estado de Santa Catarina, através da plotagem georreferenciada dos seus divisores de água sobre o Mapa de Regiões Hidrográficas do Estado de Santa Catarina.

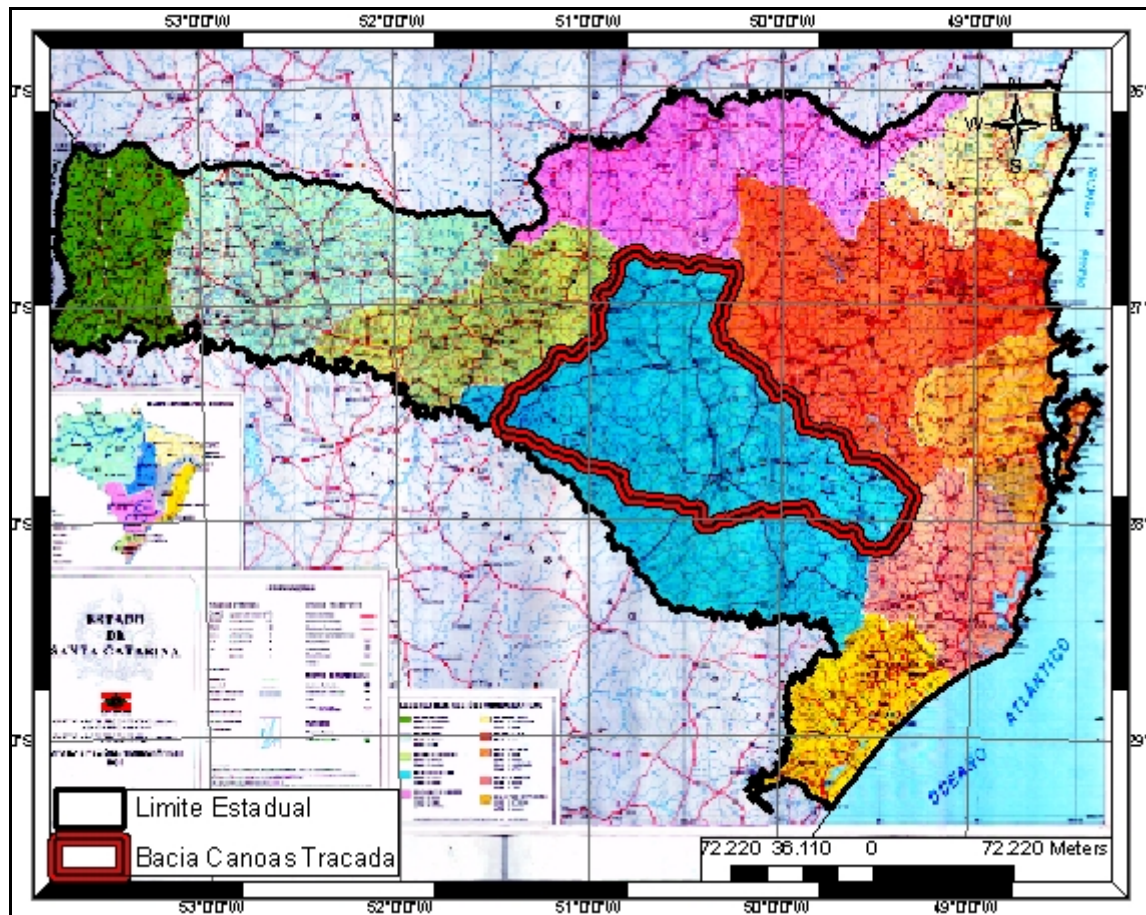


Figura 6: Contexto da Bacia Hidrográfica do Rio Canoas delimitada em vermelho, sobre o Mapa de Regiões Hidrográficas do Estado de Santa Catarina.

Ao todo são 28 municípios dentro da Bacia do Rio Canoas, onde prevalece a atividade agropecuária com 70% da produção de alho e 47% de maçã do Estado e sendo também responsável pelo maior rebanho bovino do Estado. Na área industrial, merecem destaque as indústrias de madeira, papel e celulose e do ramo mobiliário, totalizando 896 indústrias registradas pela SDM, em 1997. A Figura 7 mostra o contexto político da Bacia Hidrográfica.

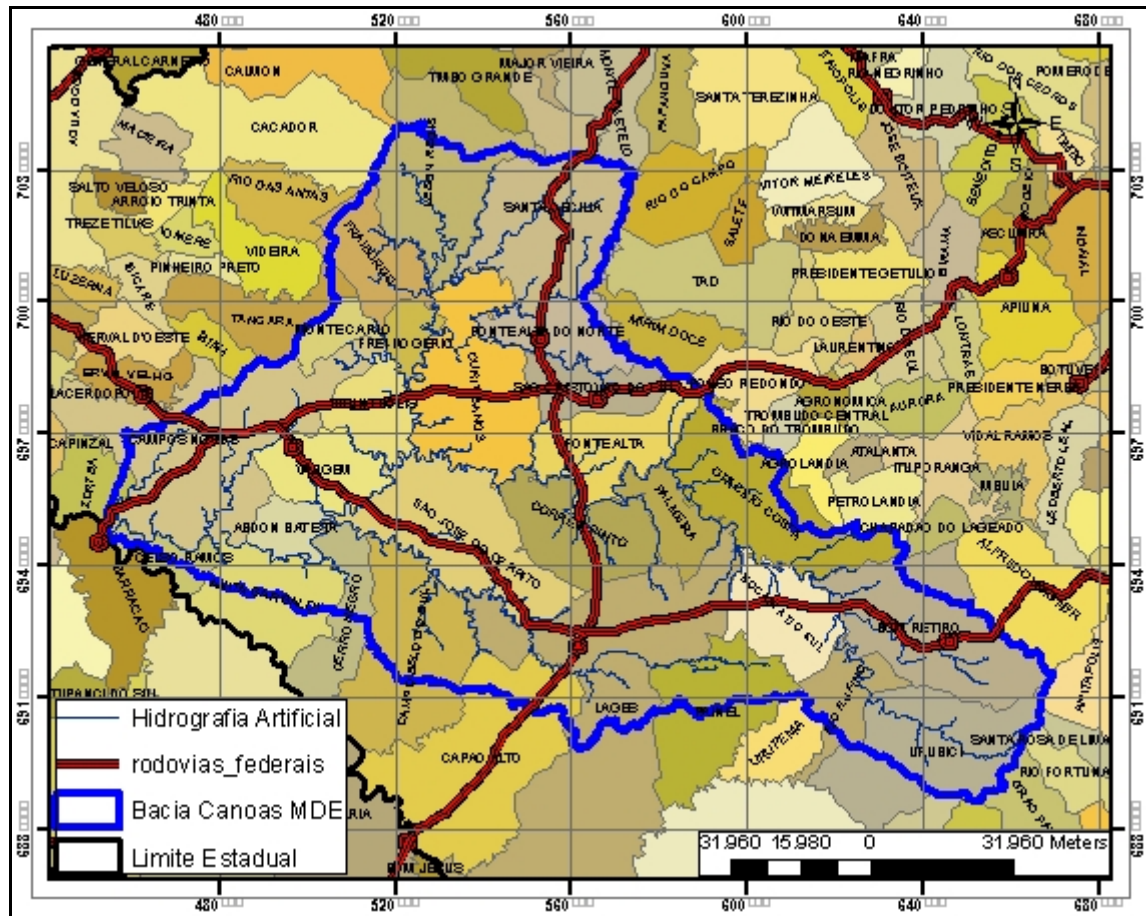


Figura 7: Contexto dos Municípios da Bacia Hidrográfica do Rio Canoas apresentados na divisão Política do Estado de Santa Catarina.

Segundo a metodologia proposta por Köppen, a região apresenta um clima mesotérmico úmido, uma vez que as temperaturas do mês mais frio estão entre 18°C e - 3°C (Temperatura média de julho: 11,57°C). Enquadra-se ao tipo de clima úmido (f), sem estações de seca definidas, pois não ocorrem índices pluviométricos inferiores a 60 mm mensais. Ainda, classifica-se por apresentar um subtipo com verão ameno (b), pois a temperatura do mês mais quente é inferior a 22°C (PANDOLFO *et al*, 2002).

A Bacia do Rio Canoas tem uma área de drenagem de aproximadamente 15.000 km², densidade de drenagem de 1,66 km/km² e uma vazão mínima média de 280m³/s, sendo uma das maiores do Estado de Santa Catarina (SDM, 1997). O principal rio da Bacia é o próprio Rio Canoas, que nasce no município de Urubici e atravessa mais doze municípios até a confluência com o Pelotas. Na margem esquerda, seu principal afluente é o rio Caveiras, que corre paralelamente no trecho de nascente do Rio Canoas e passa pelo município de Lages. Na margem direita, o rio Marombas vem perpendicularmente ao sentido do rio Uruguai, vindo de norte para o sul.

As descargas fluviais mais acentuadas acontecem na bacia no mês de setembro. No verão as chuvas ocorrem com irregularidade e ainda é alta a taxa de evapotranspiração. As vazantes mais acentuadas ocorrem no outono e os débitos mais fracos situam-se nos meses de março a abril e são sempre significativas as amplitudes entre máximas e mínimas (SDM, 1997).

3.4 Caracterização hidrográfica

3.4.1 Modelos digitais de elevação do terreno (MDE)

Os modelos digitais de elevação do terreno (MDE) são matrizes com valores da elevação do terreno em espaços equidistantes entre si, que, por seu formato matricial, são geralmente arquivados em RASTER ou GRID, que é uma estrutura de dados organizados em células quadradas de mesmo tamanho e dispostos em linhas e colunas, conforme descrito por Olivera (2001).

Ainda segundo o mesmo autor, o uso desses arquivos para a modelagem hidrológica de fluxos condicionados pela gravidade já foi amplamente publicada e testada, e, conseqüentemente, algoritmos para diversas operações de modelagem hidrográfica, como a delimitação automática de bacias de drenagem (DJOKIC *et al*, 1997), e determinação de redes de fluxo (JENSEN e DOMINGUE 1988; JENSEN 1991) já foram desenvolvidos e estão implementados inclusive em muitos *softwares* livres de geoprocessamento.

O United States Geological Survey (USGS), por meio de um projeto conjunto entre a Agência Espacial Americana (NASA) e a Agência de Inteligência Geo-Espacial (NGA), disponibiliza *online* os dados produzidos pela Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), que são Modelos Digitais de Elevação do terreno (MDE) em formato matricial com resolução espacial de 1 arco-segundo (30m) ou 3 arco-segundos (90m) expressos em coordenadas geográficas (latitude / longitude) referenciados com o Datum WGS84 de toda a superfície da Terra.

O arquivo MDE utilizado para a pesquisa, apresentado na Figura 8, foi disponibilizado pela EPAGRI, através da Mapoteca Digital (EPAGRI, 2006), que dispõe de arquivos de modelos digitais de elevação (MDE) do Estado de Santa Catarina, com resolução espacial de

30 metros, em formato Geotif e GRID 16 bits. Segundo a EPAGRI, para chegar a este produto foi utilizado o MDE de resolução espacial de 3 arco-segundo (90m) disponibilizado pelo USGS , que foi interpolado para uma resolução espacial de 1 arco-segundo (30m) com a finalidade de suavizar a representação do terreno e então re-projetado para o sistema de coordenadas UTM datum SAD69, oficial do Brasil. O MDE foi convertido de Geotif 16 bits para o formato padrão do ArcInfo (GRID). A acurácia absoluta horizontal é de 20 metros (para erro circular com 90% de confiança) e vertical de 16 metros (para erro linear com 90% de confiança).

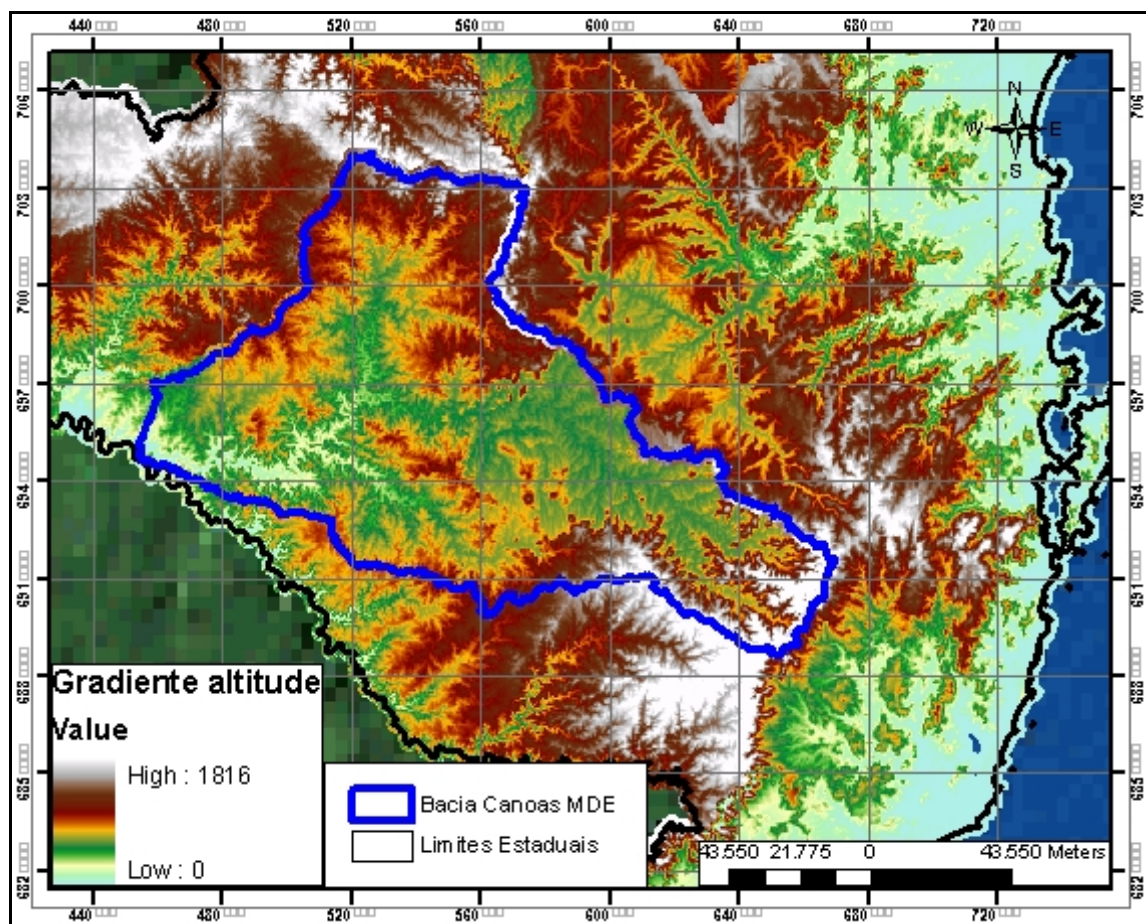


Figura 8: Modelo digital de elevação de terreno (MDE) disponibilizado pela Epagri através da Mapoteca Digital, Epagri (2006).

Para a utilização de modelos digitais de elevação de terreno (MDE) na caracterização de bacias hidrográficas é necessário o pré-processamento do arquivo digital. Este pré-processamento consiste em verificar a existência de células denominadas *sinks*, que podem ser originárias de depressões naturais do terreno ou de falhas no modelo de elevação de terreno. Os *sinks*, que podem ser traduzidos como “ralos ou goteiras”, interrompem o sentido

do fluxo de água durante o processamento do algoritmo matemático e dessa forma podem gerar falsos lagos e lagoas.

Foi realizada uma operação automática, por meio de uma ferramenta do ArcHydro, para a verificação de existência de células no arquivo do MDE da área de estudo, que tivessem características de células *sinks*. Esse procedimento gera um segundo arquivo GRID, com a indicação das potenciais células *sink*”.

A verificação dessas células foi realizada manualmente pela utilização das imagens do Satélite CBERS, disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), através da verificação visual do terreno em questão, para avaliar a pertinência ou não de cada célula identificada pelo algoritmo. Devido ao pré-processamento já realizado pela EPAGRI, foram encontradas poucas células *sinks*, que foram corrigidas através do processamento automático utilizando um algoritmo específico para o preenchimento destas falhas, o *filling sink*, disponível também em uma ferramenta do ArcHydro.

A Figura 9 apresenta o modelo digital de elevação do terreno (MDE), já corrigido, resultado do preenchimento de todas as células *sinks* encontradas.

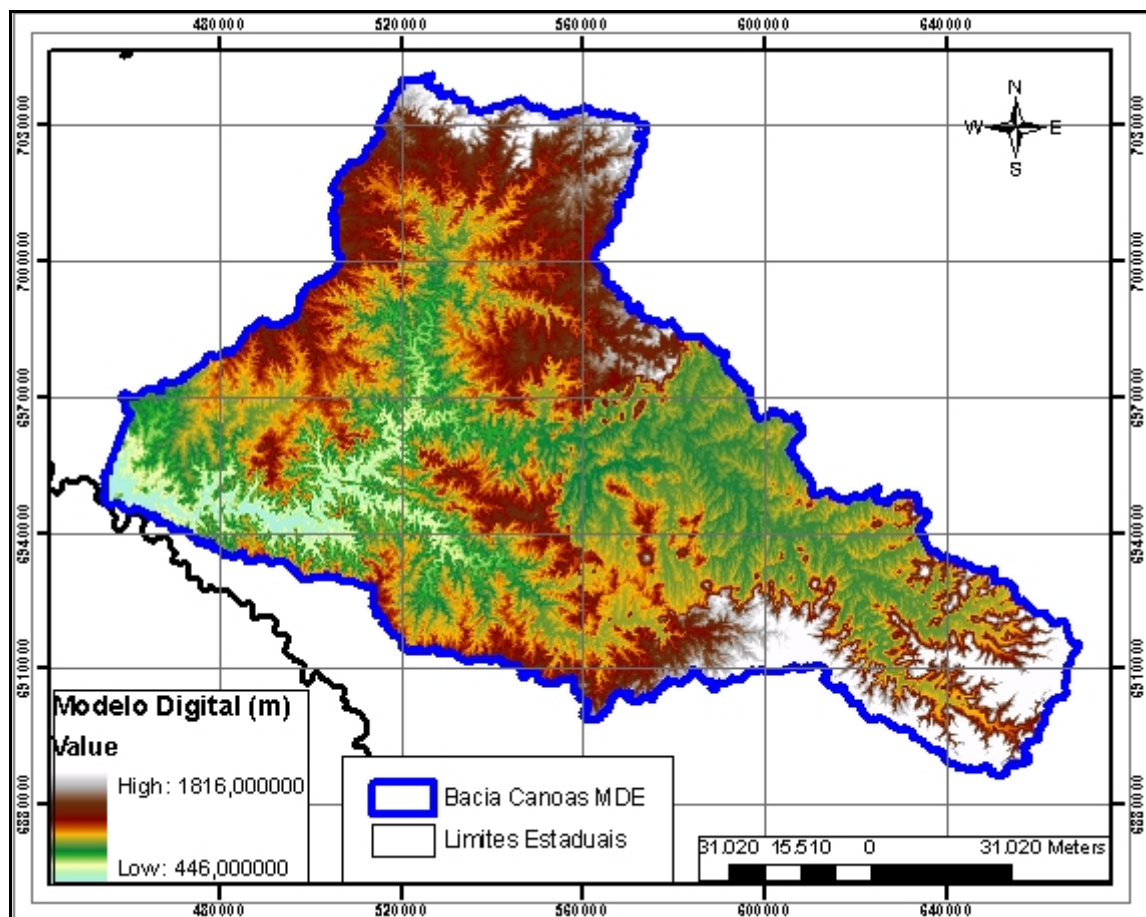


Figura 09: Modelo Digital de Elevação do Terreno corrigido através da operação de “*filling sinks*”.

3.4.2 Geração artificial de redes de drenagem

A análise do arquivo RASTER do modelo digital de terreno (MDE) para a caracterização hidrográfica foi realizada utilizando os algoritmos descritos por Olivera (2000) e definidos por Jensen e Domingues (1988), que podem ser utilizados para determinar sentidos de fluxo, áreas de drenagem e limites de bacias hidrográficas.

A primeira análise, de direção de fluxo *Flow Direction*, utiliza os dados de altitude do arquivo MDE corrigido, e consiste em calcular para cada célula do arquivo RASTER, a direção da máxima pendente, considerando as suas oito células vizinhas. Conforme o resultado do cálculo de direção da pendente do terreno, para cada célula do terreno, o algoritmo determina um número de 1 a 128, conforme uma direção pré-estabelecida, e armazena em um novo arquivo a informação relativa à direção do fluxo da água em cada célula considerada. A Figura 10 ilustra o procedimento a partir do arquivo MDE corrigido, o cálculo da declividade em relação a cada célula vizinha, a determinação da máxima pendente e sentido de fluxo da água superficial e a codificação de direção utilizada pelo algoritmo. A Figura 11 apresenta o arquivo RASTER resultado desse processamento sobre o MDE corrigido.

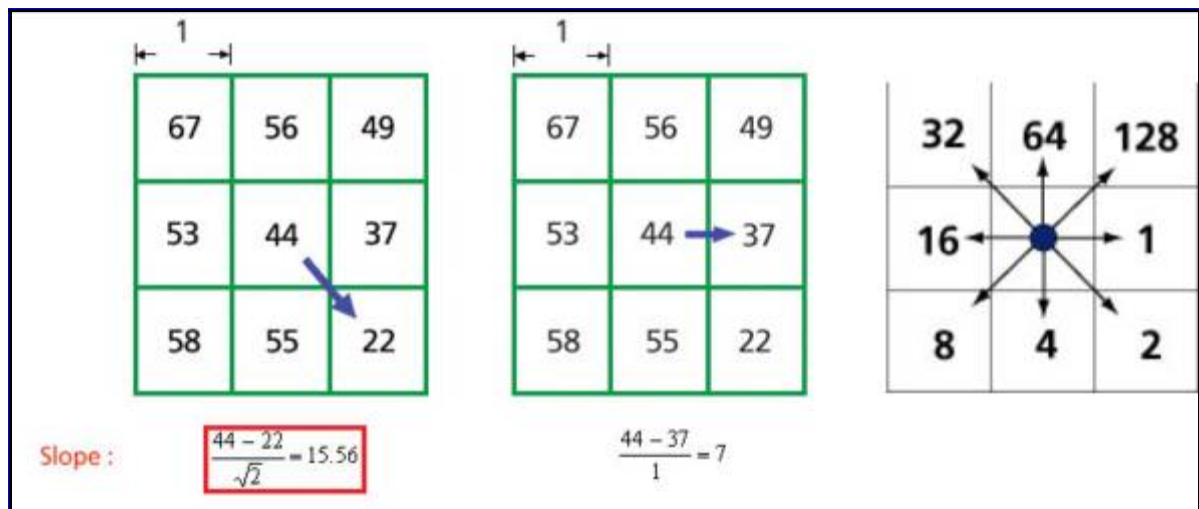


Figura 10: Modelo conceitual descrito por Olivera (2000) para o cálculo da direção de fluxo pela máxima pendente. Fonte: Maidment (2002).

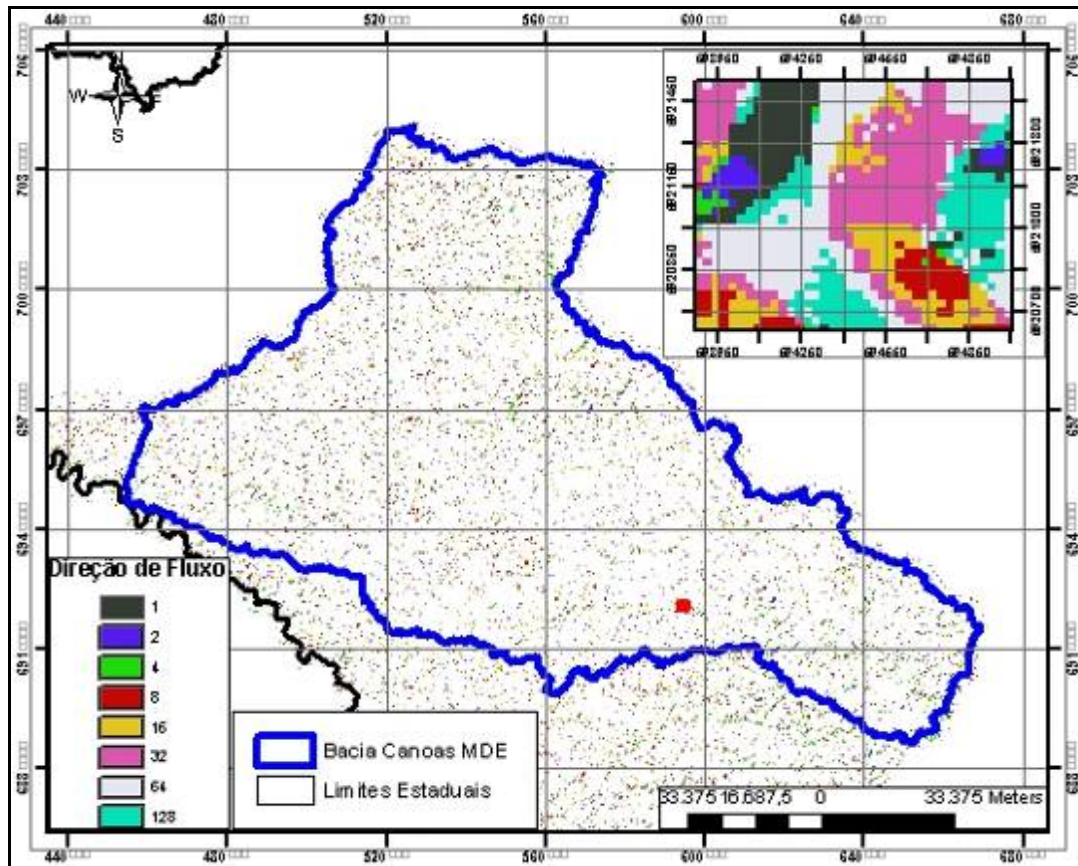


Figura 11: Arquivo GRID resultado do processamento do algoritmo para cálculo de direção de fluxo *Flow Direction* para a Região Hidrográfica n. 4 do Estado de Santa Catarina. O detalhe permite a visualização dos diferentes valores de direção de fluxo no GRID.

Nesse arquivo, cada célula do terreno armazena um código de sentido de fluxo, que indica para qual das suas oito células vizinhas vai a direção do fluxo. Com essa informação, o algoritmo para avaliação do fluxo acumulado *Flow Accumulation*, pode mapear as conexões existentes entre as células do terreno, gerando uma rede em formato de árvore. (OLIVERA, 2001).

Esse processamento, realizado com a ferramenta *Flow Accumulation*, do ArcHydro, utiliza um algoritmo que analisa e soma o número de células contribuintes para cada célula, avaliando o acúmulo de células contribuintes em cada célula, segundo o gradiente de fluxo determinado anteriormente. A Figura 12 apresenta o modelo conceitual do algoritmo, mostrando a representação do arquivo de direção de fluxo gerado na etapa anterior, a ligação das células contribuintes, a verificação do número de células contribuintes a montante e o arquivo final com a informação de número de células contribuintes.

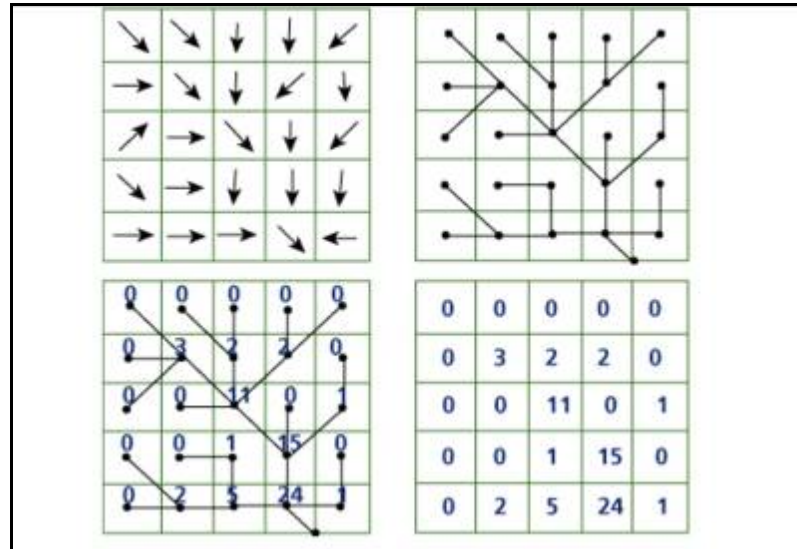


Figura 12 – Modelo conceitual do algoritmo para avaliação de rede de drenagem e acumulação de fluxo. Fonte: Maidment (2002).

O resultado do cálculo é um arquivo que define para cada célula do GRID a sua área de contribuição de drenagem, medida em número de células contribuintes a montante. Como o modelo de elevação de terreno inicial utilizado tem uma resolução de 30 metros, cada célula do terreno contribui com uma área de drenagem de 900 m². A Figura 13 apresenta o resultado do processamento do arquivo *Flow accumulation* multiplicado pela área de drenagem correspondente a cada célula do terreno. Esse arquivo RASTER contém a informação das áreas de drenagem em metros quadrados da bacia contribuinte a montante para cada célula de 30 metros quadrados do terreno.

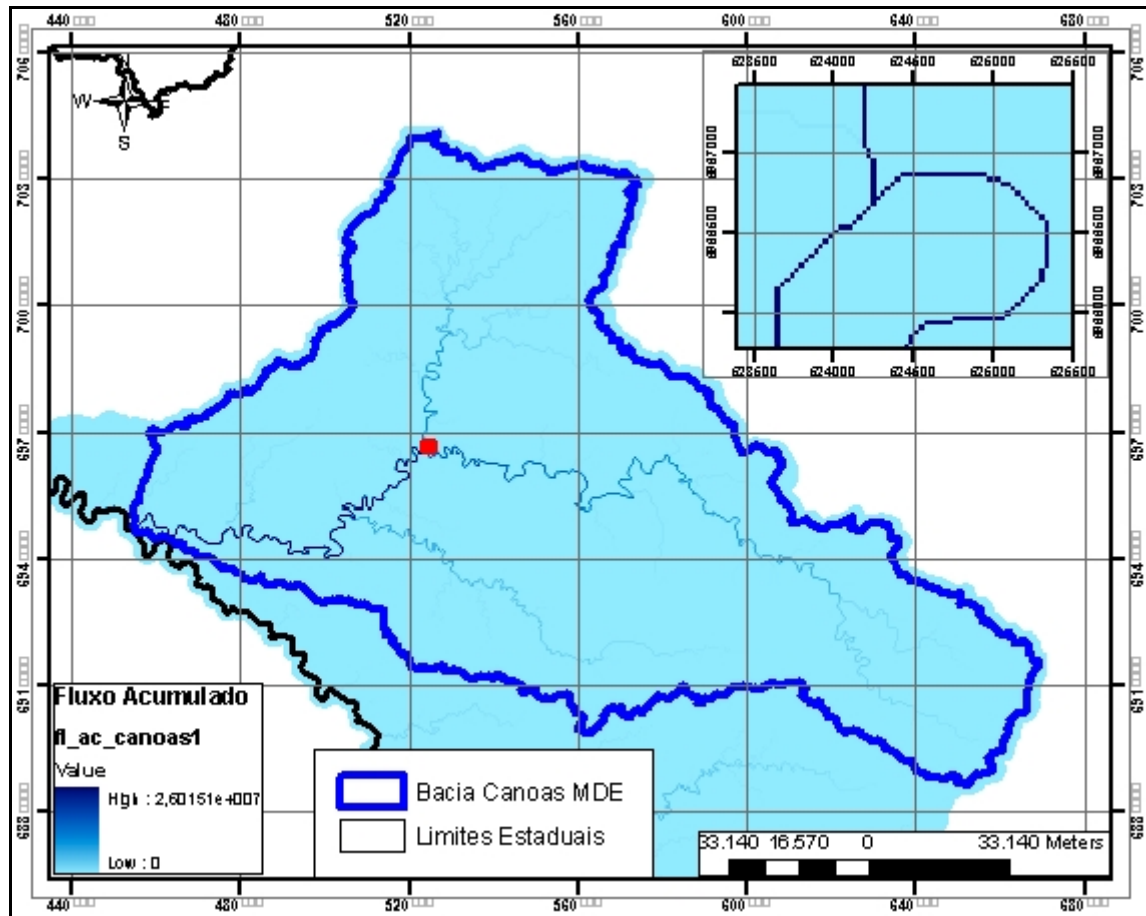


Figura 13: Arquivo GRID resultado do processamento do algoritmo para cálculo de acumulação de fluxo *Flow Accumulation* para a Região Hidrográfica n. 4 do Estado de Santa Catarina. O detalhe permite a visualização das células.

A partir do arquivo de acumulação de fluxo *Flow Accumulation* gerado, podem-se aplicar algoritmos implementados no ArcHydro, para a geração artificial de redes de drenagem. Esta é uma ferramenta que transforma o arquivo que representa uma rede de drenagem, em formato RASTER para um arquivo VETOR, em função do critério adotado, considerando um número mínimo de células contribuintes para se definir um rio. A geração artificial de redes de drenagem é realizada por meio da conexão das células que tenham uma área de contribuição de drenagem maior do que a definida no critério de seleção.

Foram geradas quatro redes de drenagem artificiais para o sistema de drenagem superficial da Bacia Hidrográfica do Rio Canoas. O critério para geração das redes de drenagem foi a área de contribuição a partir da qual a superfície do terreno se torna um corpo hídrico. A Tabela 3, mostra os quatro parâmetros utilizados para a operação. A Figura 14 mostra os resultados encontrados para as quatro redes geradas.

Tabela 3 – Parâmetros para Geração das Redes Artificiais

<i>Denominação da Rede</i>	<i>Áreas de drenagem considerada (km²)</i>
Hidro_art_500	0,5
Hidro_art_10000	9
Hidro_art_50000	45
Hidro_art_200000	180

Através do processo de comparação visual com as bases topográficas do IBGE em escala 1:50.000 encontrou-se uma precisão favorável das redes artificiais geradas. O critério utilizado para a seleção da rede de drenagem, a ser utilizada para a montagem da rede de fluxo, no Sistema de Suporte a Decisão, foi o tamanho de bacias de contribuição acima de 180 km², indicada na Figura 14 com a coloração preta. Essa rede foi utilizada devido a sua representatividade com a escala representada no modelo de suporte a decisão.

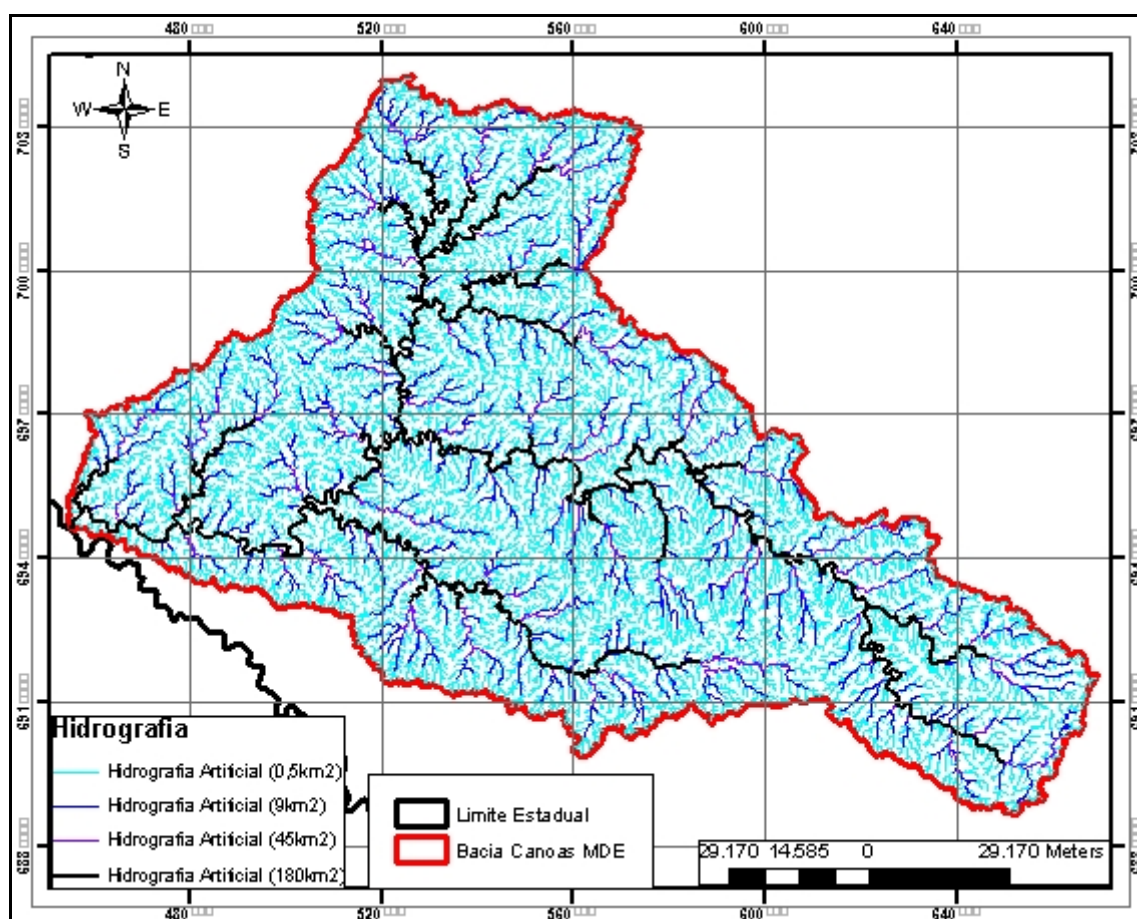


Figura 14: Resultado do processo de geração artificial de redes de drenagem superficiais na Bacia Hidrográfica do Rio Canoas para os 4 critérios de área de drenagem mínima pré definidas.

3.4.3 Delimitação das bacias hidrográficas

Foi delimitada a área da Bacia Hidrográfica do Rio Canoas considerando sua exutória no ponto justamente a montante da confluência com o rio Pelotas. Foram comparadas três delimitações da área de drenagem da bacia hidrográfica. Dois limites da bacia hidrográfica eram pré-estabelecidos, o limite da bacia hidrográfica segundo o HIDROGEO e o limite segundo o Mapa de Bacias Hidrográficas do Estado de Santa Catarina (SDM, 2000).

A terceira área de drenagem foi delimitada através do processo de traçado automático de bacias hidrográficas por geoprocessamento. A Figura 15 apresenta a sobreposição desses três limites sobre a base georreferenciada da bacia hidrográfica. Pode-se verificar que a precisão do limite pelo método de delineação automática supervisionada é superior às duas anteriores, fato que pode ser confirmado pela precisão e a acuracidade dos limites.

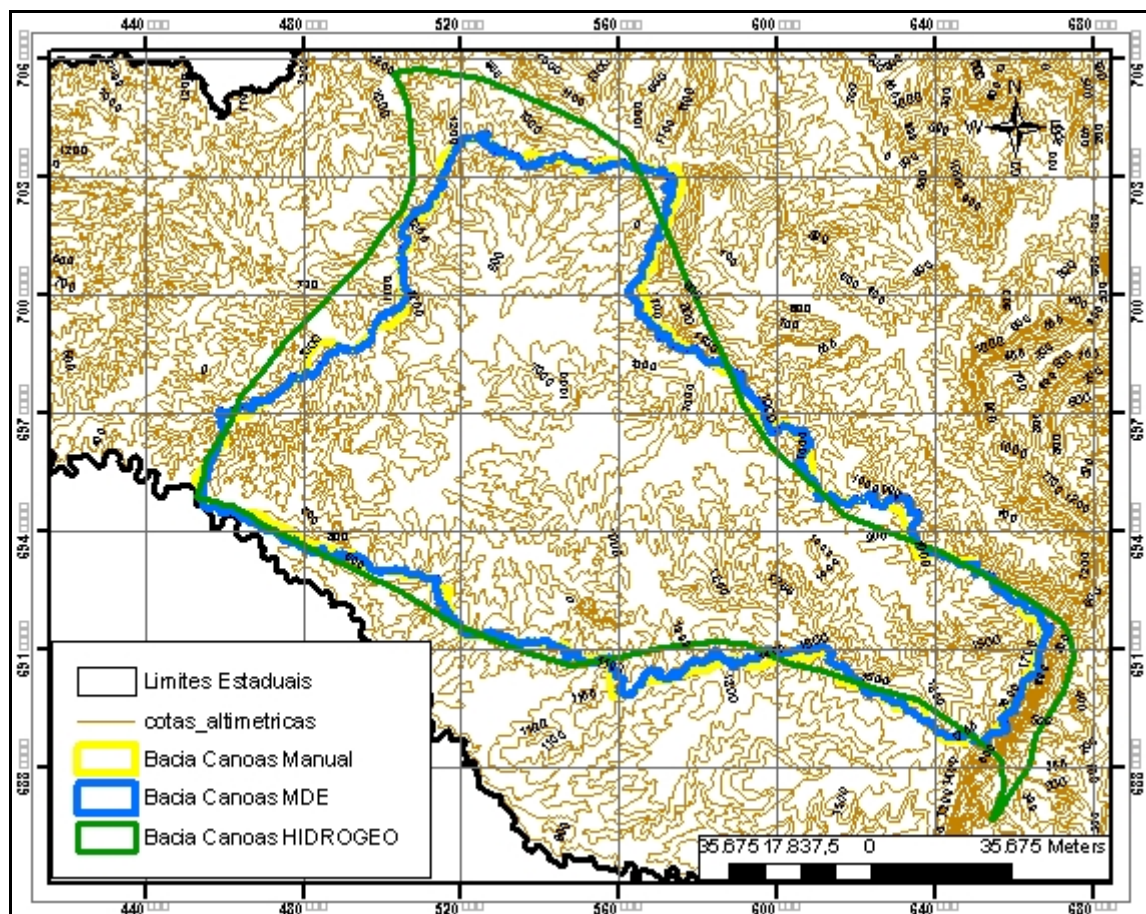


Figura 15: Análise do método de delimitação de áreas de drenagem, utilizando 3 delimitações da Bacia Hidrográfica do Rio Canoas.

Para a delimitação das bacias hidrográficas, operação comum em estudos e projetos hidrológicos, foi utilizado o método de delineação automática, conforme metodologia descrita

por Olivera (2000), e implantado através de uma ferramenta de modelagem hidrológica que funciona em ambiente ArcGIS.

Foi aplicado também um algoritmo que define as áreas de drenagem dos pontos de interesse. Foram calculadas e delimitadas todas as áreas das sub-bacias de controle para a análise de outorga e as áreas de contribuição das estações fluviométricas.

Para a definição dos pontos de controle utilizados no modelo de rede fluxo, utilizaram-se critérios como: a existência no ponto de estação fluviométrica, relevância do ponto em referência aos pontos de consumo e a posição estratégica na rede de drenagem na bacia.

Foram considerados 10 pontos de controle dentro da bacia hidrográfica. A Tabela 4 apresenta os pontos de controle utilizados no estudo.

Tabela 4: Pontos de controle definidos na Bacia Hidrográfica do Rio Canoas.

PONTOS	LOCALIZAÇÃO	ÁREA DE DRENAGEM (KM2)
1	Exutória da bacia do Rio Canoas	1.564
2	Rio Canoas entres Abdon Batista e Anita Garibaldi	2.627
3	Rio Marombas no cruzamento com a rodovia Federal BR 470	853
4	A jusante da confluência entre o rio das Pedras e Marombas	1.057
5	A jusante da confluência entre o Rio dos Patos e Corrientes	1.726
6	Rio Caveiras a montante da confluência com o Rio Canoas	1.518
7	Rio Caveiras no cruzamento com a rodovia federal BR 116	797
8	Rio Canoas a jusante do município de Ponte Alta	2.894
9	Rio do Meio antes da confluência com o Rio canoas	704
10	Rio Canoas no cruzamento com a rodovia federal BR 282	1.132

Após a identificação e determinação dos pontos de controle, foram delimitadas suas respectivas bacias de drenagem e suas características hidrográficas. As Figuras 16 e 17 apresentam as bacias hidrográficas consideradas no estudo.

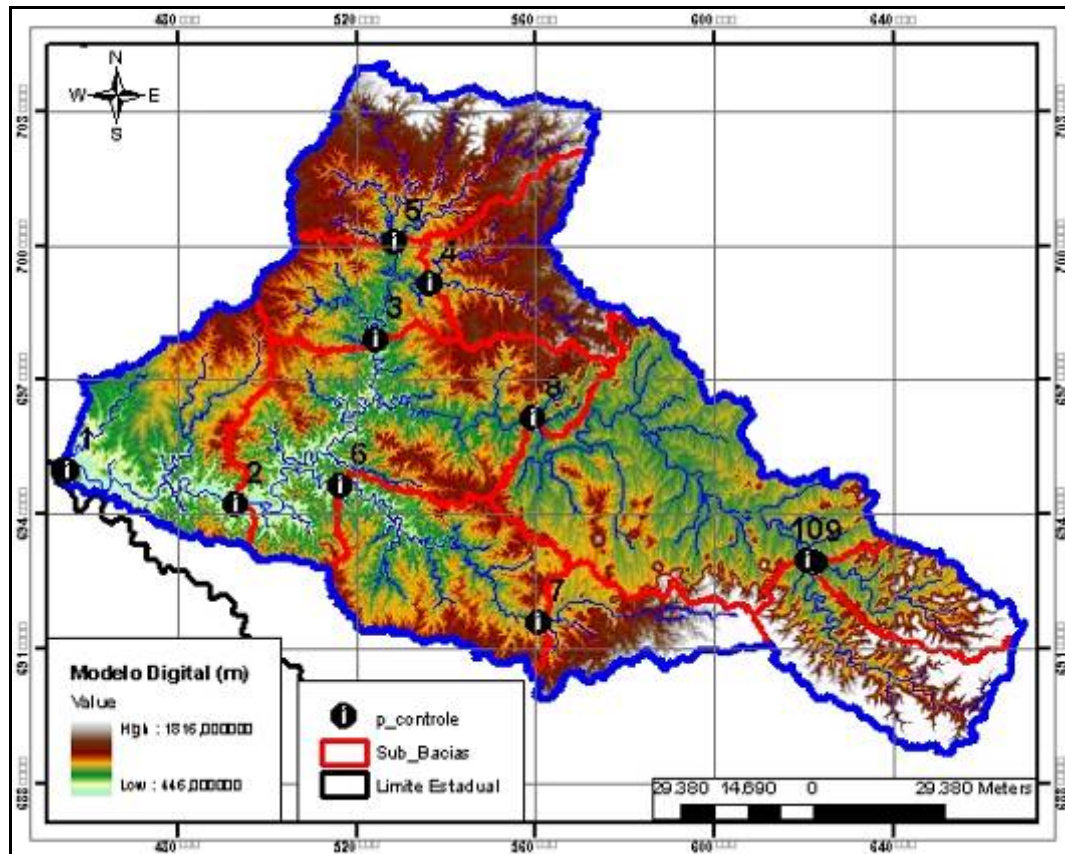


Figura 16: Pontos de controle em preto e a delimitação das 10 Sub-bacias para a área de estudo.

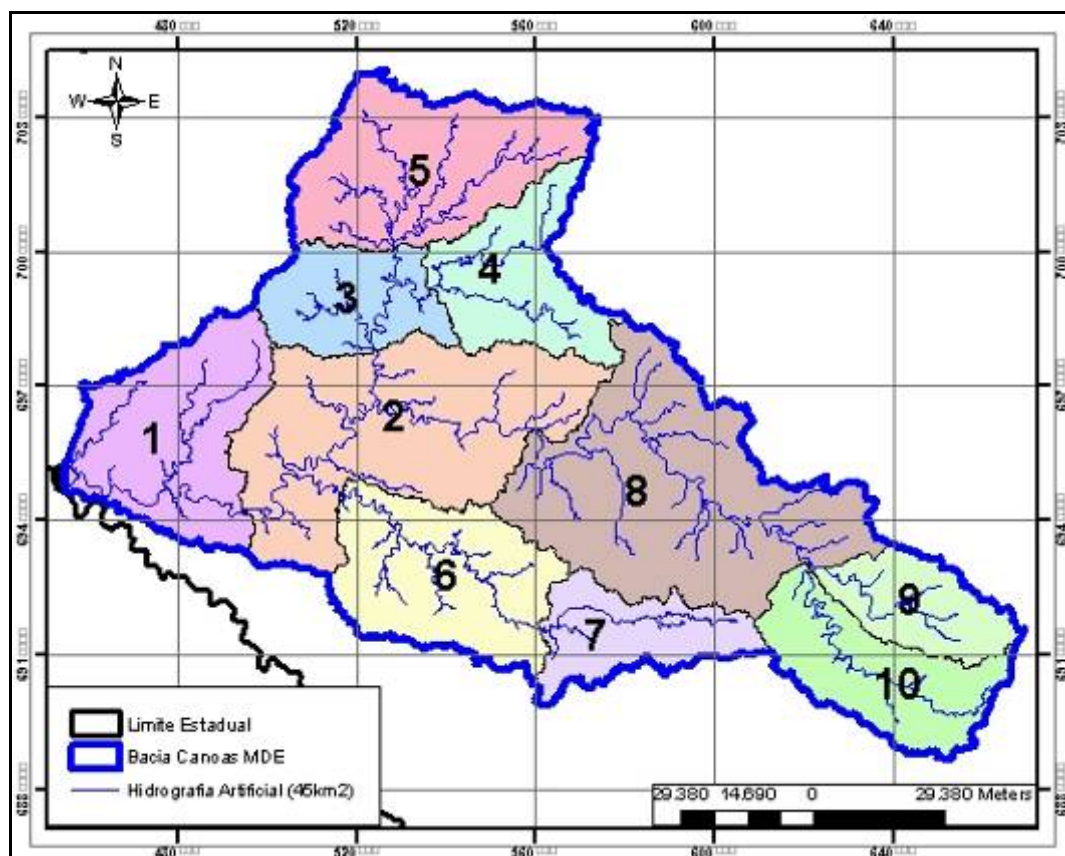


Figura 17: Delimitação das 10 Sub-bacias para a área de estudo.

3.5 Caracterização hidrológica

O objetivo do estudo hidrológico é determinar a disponibilidade de água na bacia hidrográfica para os estudos de outorga e simulação de cenários de uso da água na bacia. A quantificação das disponibilidades hídricas, devido a sua grande variabilidade, tanto temporal quanto espacial, é uma tarefa fundamental para garantir êxito no planejamento, projeto e operação de sistemas de gerenciamento, controle e utilização de recursos hídricos, que dependem em grande parte do conhecimento da quantidade de água envolvida (RODRIGUEZ, 2006).

O conceito do ciclo hidrológico é fundamental para aplicação de estudos práticos de hidrologia, pois representa toda a complexidade do sistema hídrico de um local e esta abordagem favorece a consideração de todos os aspectos envolvidos no processo. Devido à complexidade hídrica da Bacia do Rio Canoas e da dificuldade de obter informações sobre sua hidrologia, foi desenvolvida uma abordagem simplificada do ciclo hidrológico que ocorre em condições normais nesse ambiente.

A metodologia utilizada para o cálculo da disponibilidade hídrica está dividida em quatro etapas. O primeiro aspecto abordado é o estudo pluviométrico. A segunda etapa compreende a caracterização dos regimes fluviométricos, por meio da análise de dados disponíveis. O terceiro aspecto abordado é a aplicação do estudo de regionalização de vazões para a bacia hidrográfica. O resultado final do estudo hidrológico com a determinação das disponibilidades hídricas da bacia é representado pelos modelos digitais com os valores calculados segundo cada índice hidrológico utilizado.

A necessidade de dados hidrológicos confiáveis a respeito da quantidade de água influi diretamente em quase a totalidade das técnicas utilizadas em estudos hidrológicos. A quantificação representa uma das atividades de maior importância para as tomadas de decisão adequadas no que diz respeito ao planejamento, aproveitamento e controle dos recursos hídricos (MENDONÇA, 2003).

Foram utilizados os dados disponibilizados pela Agência Nacional de Águas (ANA), através do Sistema de Informações Hidrológicas, Hidroweb. Também foram utilizados os arquivos do Sistema de Informações Georrefenciadas de Energia e Hidrologia (HIDROGEO) da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

3.5.1 Precipitação

A precipitação é um fenômeno associado a todo tipo de água que cai sobre a superfície da Terra. Esse fenômeno pode ocorrer de diferentes formas e intensidades e ser provocado respectivamente por diferentes fatores ambientais. Para estabelecer um aporte de água mais preciso para o local de estudo, existem métodos hidrológicos para extrapolar a informação coletada nas coordenadas geográficas das respectivas estações de medidas para a localização da área de estudo (MARIN, 2005).

O objetivo do estudo de precipitações na Bacia Hidrográfica no Rio Canoas é definir a precipitação média espacializada sobre a bacia hidrográfica. Segundo Tucci (2005), a precipitação espacial média da bacia representa o valor de precipitação média sobre uma área definida. Essa variável é calculada geralmente para uma bacia e utilizada para relacionar com a sua vazão. Essa precipitação pode ser calculada diretamente dos postos pluviométricos pelo método de Thiessen, Isoiteas ou outro método de interpolação.

O Estudo pluviométrico foi realizado por meio de uma metodologia integrada entre o SIG e o sistema de análise estatística de dados CHAC. Foi identificado um total de 32 estações pluviométricas na Bacia Hidrográfica do Rio Canoas. A Tabela 5 apresenta o resultado do inventário das Estações Pluviométricas na área da bacia Hidrográfica e suas adjacências.

Tabela 5 – Inventário das estações pluviométricas existentes na Bacia Hidrográfica do Rio Canoas.

CODIGO	NOME	ANEEL	ANA	LATITUDE	LONGITUDE	ALT. (m)
2650019	LEBON REGIS	X	X	-26 55 48	-50 41 17	1000
2749009	RIO BONITO	X	X	-27 42 00	-49 50 00	900
2749021	BOM RETIRO 773	X		-27 48 00	-49 31 00	907
2749031	VILA CANOAS	X	X	-27 48 09	-49 46 41	900
2749035	BOCAINA DO SUL	X	X	-27 44 39	-49 56 39	900
2750002	CURITIBANOS 83890	X		-27 17 00	-50 38 00	1040
2750003	ENCRUZILHADA II	X	X	-27 48 30	-50 19 43	820
2750004	FRAIBURGO I	X	X	-27 01 00	-50 55 00	1100
2750005	LAGES 83891	X		-27 48 30	-50 19 42	937
2750006	LAGES	X		-27 47 00	-50 20 00	937
2750008	PASSO CARU	X	X	-27 32 16	-50 51 35	720
2750009	PASSO MAROMBAS	X	X	-27 19 51	-50 45 03	829
2750010	PONTE ALTA DO NORTE	X	X	-27 09 45	-50 28 00	980
2750011	PONTE ALTA DO SUL	X	X	-27 28 51	-50 23 04	840
2750012	PONTE DO RIO ANTINHAS	X	X	-27 20 41	-50 26 02	940
2750013	PONTE DO RIO CORRENTE	X	X	-27 04 00	-50 39 00	800
2750015	USINA PERY	X		-27 25 00	-50 40 00	0
2750016	FRAIBURGO 83873	X		-27 03 00	-50 56 00	1145
2750018	SALTO PERY	X		-27 26 00	-50 40 00	700
2750019	ENCRUZILHADA	X		-27 25 00	-50 12 00	850
2750020	SAO JOSE DO CERRITO	X	X	-27 39 38	-50 34 59	920
2750021	CABECEIRA RIBEIRAO CAETANO	X	X	-27 08 28	-50 15 52	900
2750022	PONTE ALTA DO NORTE-CIFSUL	X	X	-27 07 15	-50 27 24	0
2750023	CURITIBANOS	X		-27 16 44	-50 34 57	1016
2751001	ANITA GARIBALDI	X	X	-27 41 32	-51 07 46	800
2751002	CAMPOS NOVOS 83887	X		-27 22 59	-51 12 56	952
2751016	VIDEIRA	X	X	-27 09 00	-51 09 00	775
2849015	URUBICI 488	X		-28 02 00	-49 32 00	1111
2849021	URUBICI	X	X	-27 59 19	-49 34 39	997

A área adjacente à Bacia Hidrográfica do Rio Canoas, considerada no estudo, foi determinada através das estações pluviométricas que interferissem significativamente em área, para a criação dos polígonos de Thiessen e interpolação das Isoietas, métodos utilizados para interpolação do cálculo da precipitação média da bacia.

Foi levantada a disponibilidade de dados referentes às séries históricas de todas as estações pluviométricas que constavam em pelo menos uma das bases de dados consultadas. A Figura 18 apresenta o resultado do inventário de estações pluviométricas, encontradas no processo de avaliação da disponibilidade de dados pluviométricos para a Bacia Hidrográfica do Rio Canoas.

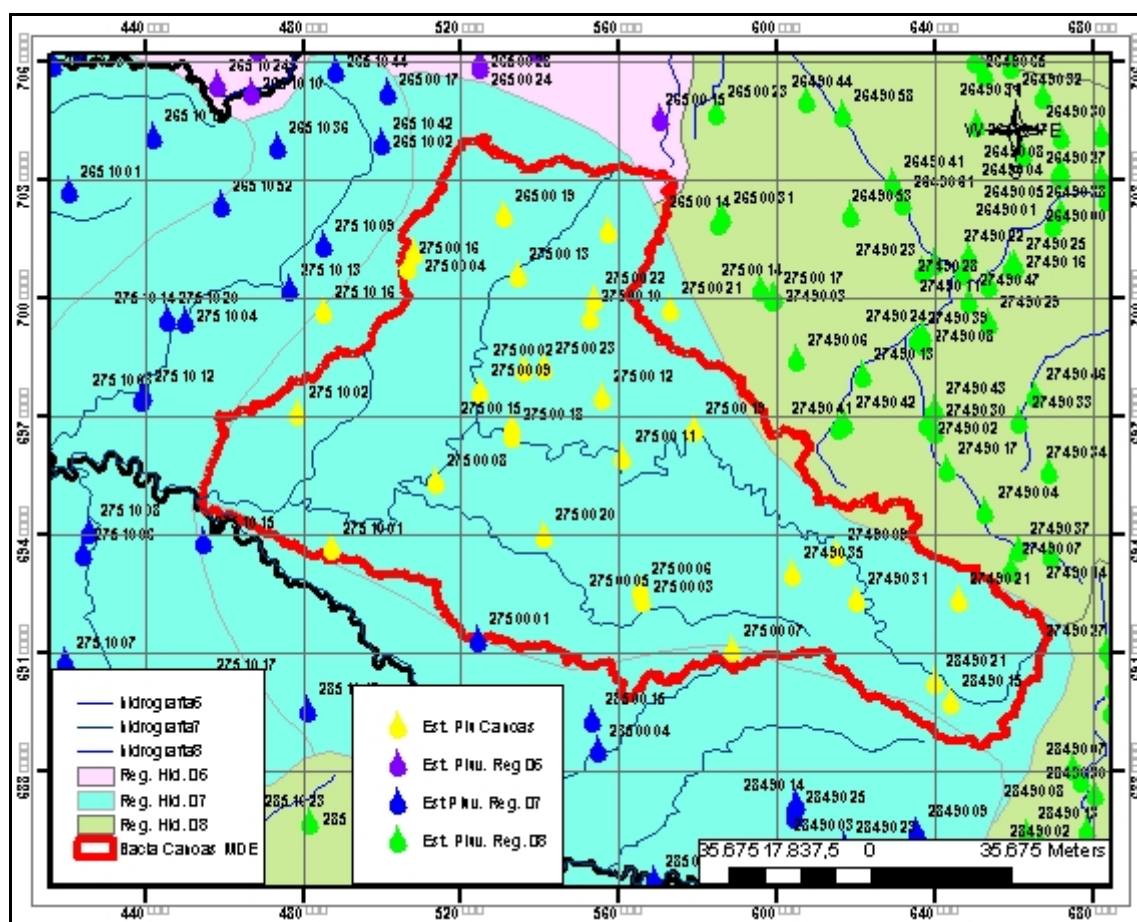


Figura 18: Resultado do Inventário das Estações pluviométricas na Bacia Hidrográfica do Rio Canoas.

Um total de 10 estações que constavam da base de dados HIDROGEO da ANEEL, apesar de estarem cadastradas no Sistema HIDROWEB da ANA, não estavam disponibilizadas para o acesso e descarga de suas respectivas séries históricas. Foram também encontradas três estações no banco de dados HIDROWEB da ANA, que não estavam no

banco de dados do sistema HIDROGEO da ANEEL, estas estações foram incluídas ao banco de dados desta pesquisa.

Foram selecionadas 25 estações para o estudo, segundo a avaliação da qualidade dos seus dados (Tabela 6) utilizando critérios sugeridos por Tucci (2004), para a avaliação de estações pluviométricas adequadas para estudos hidrológicos:

- Período de registro maior que 10 anos completos.
- Localização geográficas dos postos na região de estudo, segundo a importância de sua cobertura.
- A cobertura geográfica dos postos poderá envolver localização fora da bacia desde que o comportamento climático não apresente grande diferença. Os postos na vizinhança permitem extrapolar as tendências na região de estudo.

A Figura 19 apresenta um diagrama de barras utilizado para avaliar a disponibilidade e consistência dos dados brutos coletados por estação e a Tabela 6 um resumo estatístico dos dados brutos dessas estações.

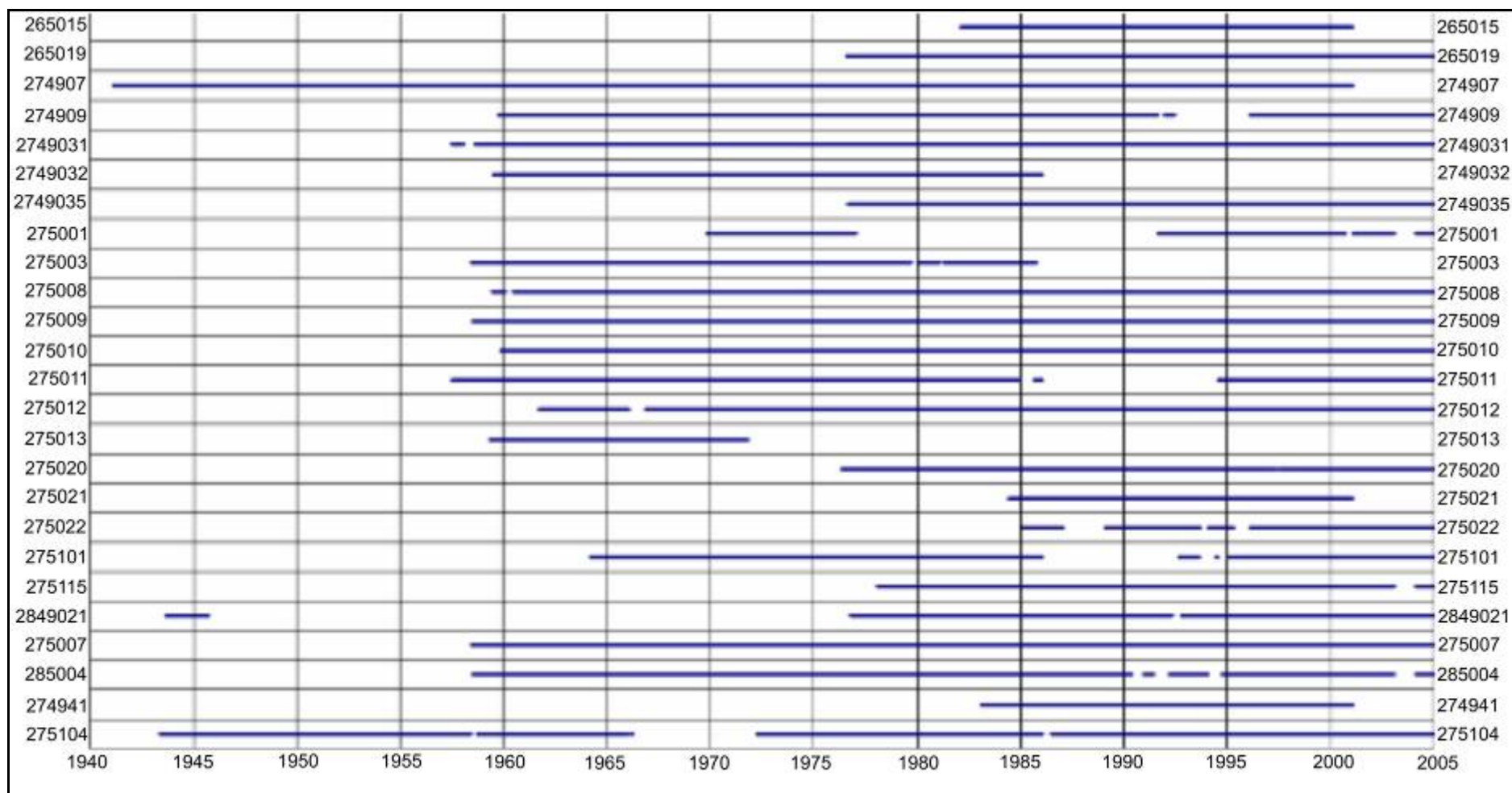


Figura 19 – Diagrama de barras para avaliação da disponibilidade de dados das estações pluviométricas no Rio Canoas.

Tabela 6: Resumo Estatístico dos Dados Brutos das Estações Pluviométricas na Bacia Hidrográfica do Rio Canoas. Total de 25 estações, com período de 64 anos, de 1941/1942 a 2004/2005.

Estação	Anos totais	Anos Completos	Média	Var.	Ass.
265015	19	19	1697,49	0,20	1,31
265019	29	28	1703,47	0,23	0,43
274907	60	60	1571,67	0,20	0,52
274909	46	40	1570,17	0,24	1,87
2749031	48	46	1483,77	0,25	0,23
2749032	27	26	1651,79	0,22	0,87
2749035	29	28	1666,98	0,21	0,67
275001	36	18	1767,63	0,17	0,24
275003	28	24	1541,49	0,25	1,56
275008	46	44	1596,23	0,22	0,79
275009	47	46	1560,33	0,23	0,76
275010	46	45	1573,87	0,19	0,76
275011	48	36	1533,22	0,23	0,75
275012	44	42	1547,62	0,22	0,96
275013	13	11	1500,00	0,16	0,00
275020	33	28	1678,16	0,22	0,39
275021	17	16	1869,71	0,19	0,04
275022	20	16	1741,62	0,17	0,08
275101	41	31	1794,73	0,21	0,29
275115	28	26	1950,55	0,21	0,52
2849021	62	28	1532,46	0,25	-0,05
275007	47	46	1597,82	0,21	0,76
285004	47	41	1440,85	0,23	0,83
274941	18	18	1660,24	0,20	0,42
275104	62	50	1657,86	0,22	0,52

Segundo Tucci (2004), é importante realizar uma análise de consistência dos dados de precipitação. Para esta análise, pode ser utilizada a aplicação do método das duplas massas e é recomendável que se considere os dados das precipitações mensais dos postos. O método das duplas massas foi aplicado considerando os seguintes critérios propostos por Tucci (2004):

- Selecionar os postos por região de acordo com condições climáticas semelhantes.
- Verificar todos os postos individualmente.
- Realizar a acumulação dos valores mensais e anuais dos postos escolhidos, iniciando com os valores históricos recentes.
- Enfatizar os postos que estejam nas vizinhanças dos pontos em análise
- Determinar a média dos postos e acumular no mesmo sentido do posto escolhido.
- Plotar os valores das séries utilizando a média dos postos na abscissa e os valores do posto que esta sendo verificado na ordenada;
- Examinar a tendência da reta obtida seguindo os critérios:
 - Mudança de declividade apresentando duas ou mais retas: constitui o exemplo típico da ocorrência de erros sistemáticos, mudanças nas condições de observação ou existência de uma causa física real.

- Alinhamento dos pontos em retas paralelas: ocorre quando existem erros de transcrição de um ou mais dados, ou pela presença de anos extremos em uma das séries.
- Distribuição errática dos pontos: é resultado da comparação de postos com diferentes regimes pluviométricos.

As Figuras 20 e 21 apresentam os gráficos da análise de duplas massas para cada estação pluviométrica da Bacia do Rio Canoas plotada sobre a média geral. Conforme pode ser observado nas Figuras citadas, as estações 275020, 275104, 275101, 2749001, 275009, 275007 e 275010 apresentaram alguma inconsistência local nos dados. Esses dados foram avaliados conforme o caso e removidos da série histórica quando necessário.

Também é recomendado que seja realizado o procedimento de preenchimento de falhas, o que possibilita a obtenção de séries homogêneas para o período de estudo. O preenchimento das falhas das séries históricas selecionadas foi realizado através do programa CHAC, que utiliza um modelo de regressão bivariada (CORMUL) com estacionarização prévia das séries de dados (CEDEX, 2004) para o preenchimento das séries de precipitação mensal medial.

A Tabela 7 apresenta o resumo do resultado do preenchimento das séries históricas de pluviometria média para a bacia hidrográfica. Nota-se que agora todas as estações possuem 40 anos completos de dados.

Tabela 7: Resumo Estatístico dos Dados Preenchidos das Estações Pluviométricas no Rio Canoas. Total de 25 estações, com período de 40 anos, de 1965/1966 a 2004/2005.

Estação	Anos totais	Anos Completos	Média	Var.	Ass.
265015	40	40	1647,37	0,18	1,06
265019	40	40	1670,22	0,21	0,62
274907	40	40	1560,26	0,20	0,71
274909	40	40	1520,02	0,26	1,73
2749031	40	40	1480,88	0,25	0,41
2749032	40	40	1641,37	0,20	0,76
2749035	40	40	1640,51	0,19	0,76
275001	40	40	1760,72	0,17	0,39
275003	40	40	1535,56	0,21	1,55
275008	40	40	1611,45	0,21	0,93
275009	40	40	1593,13	0,22	0,88
275010	40	40	1602,86	0,18	0,91
275011	40	40	1570,97	0,22	0,60
275012	40	40	1572,33	0,22	0,89
275013	40	40	1579,22	0,15	0,43
275020	40	40	1641,37	0,21	0,46
275021	40	40	1862,51	0,16	0,28
275022	40	40	1725,15	0,15	0,36
275101	40	40	1784,63	0,19	0,38
275115	40	40	1921,06	0,20	0,53
2849021	40	40	1549,20	0,19	0,82
275007	40	40	1613,06	0,21	0,89
285004	40	40	1457,32	0,21	0,84
274941	40	40	1617,60	0,18	0,50
275104	40	40	1769,80	0,18	0,64

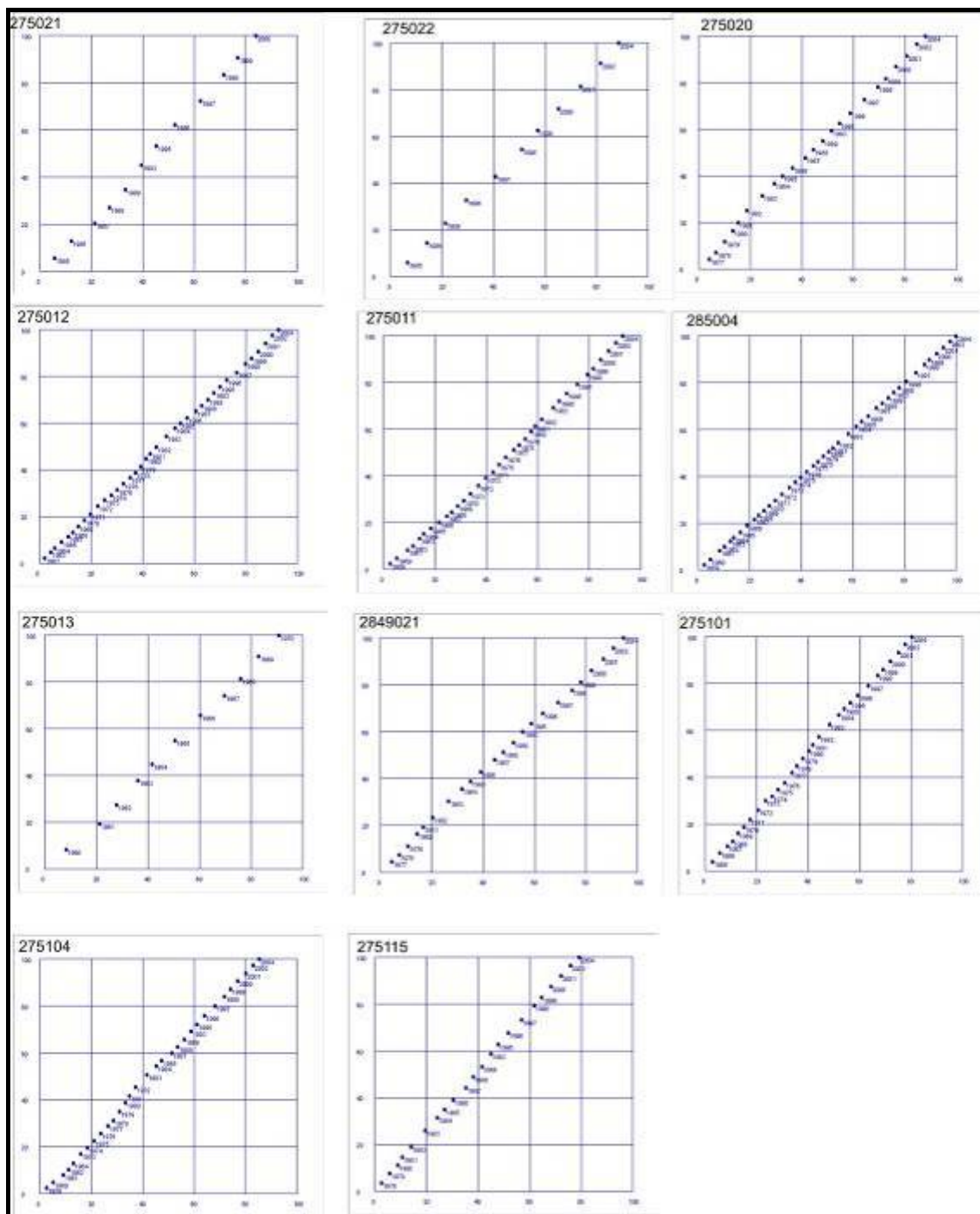


Figura 20: Análise de consistência pelo método de dupla massa para as estações pluviométricas selecionadas no Rio Canoas.

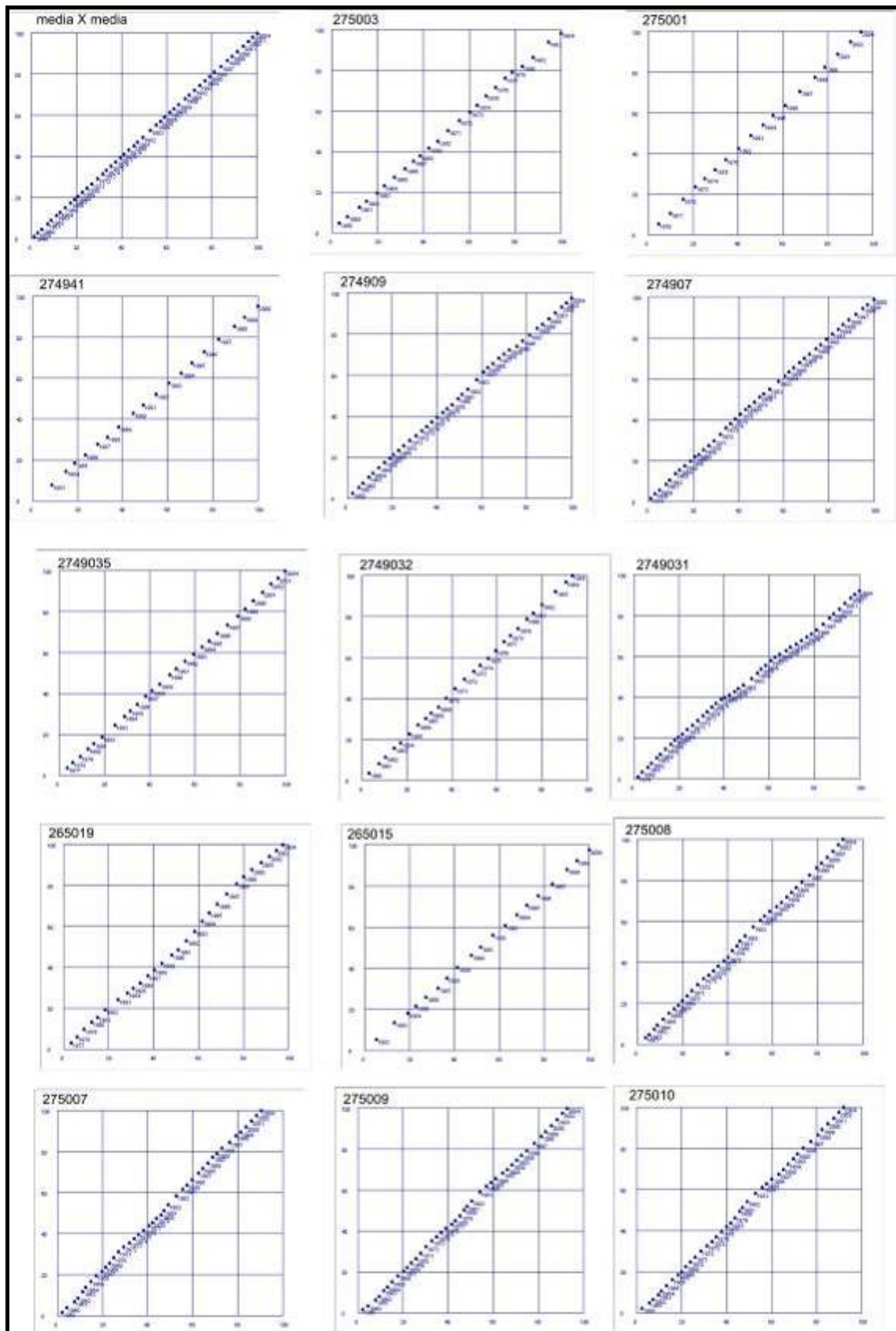


Figura 21: Análise de consistência pelo método de dupla massa para as estações pluviométricas selecionadas no Rio Canoas.

Foram utilizados dois métodos de interpolação espacial dos dados de precipitação média mensal para a bacia. O método de Thiessen está baseado em um método geométrico de cálculo para as médias ponderadas dos valores pontuais dos pluviôgrafos da bacia. Consiste na ligação de cada ponto de pluviôgrafo ao seu mais próximo e se delimitar às retas mediatrizes dessas retas que unem os pontos dos pluviôgrafos. Para cada estação foi assinalada a área resultante dos polígonos formados pelas mediatrizes traçadas em toda a Bacia. A precipitação média é o resultado da multiplicação do fator de área para cada estação por seus dados de precipitação resultando em uma série de dados pluviométricos médio para a bacia (MARIN, 2005).

A Figura 22 apresenta o resultado do geoprocessamento dos Polígonos de Thiessen utilizados no estudo para interpolação da precipitação média.

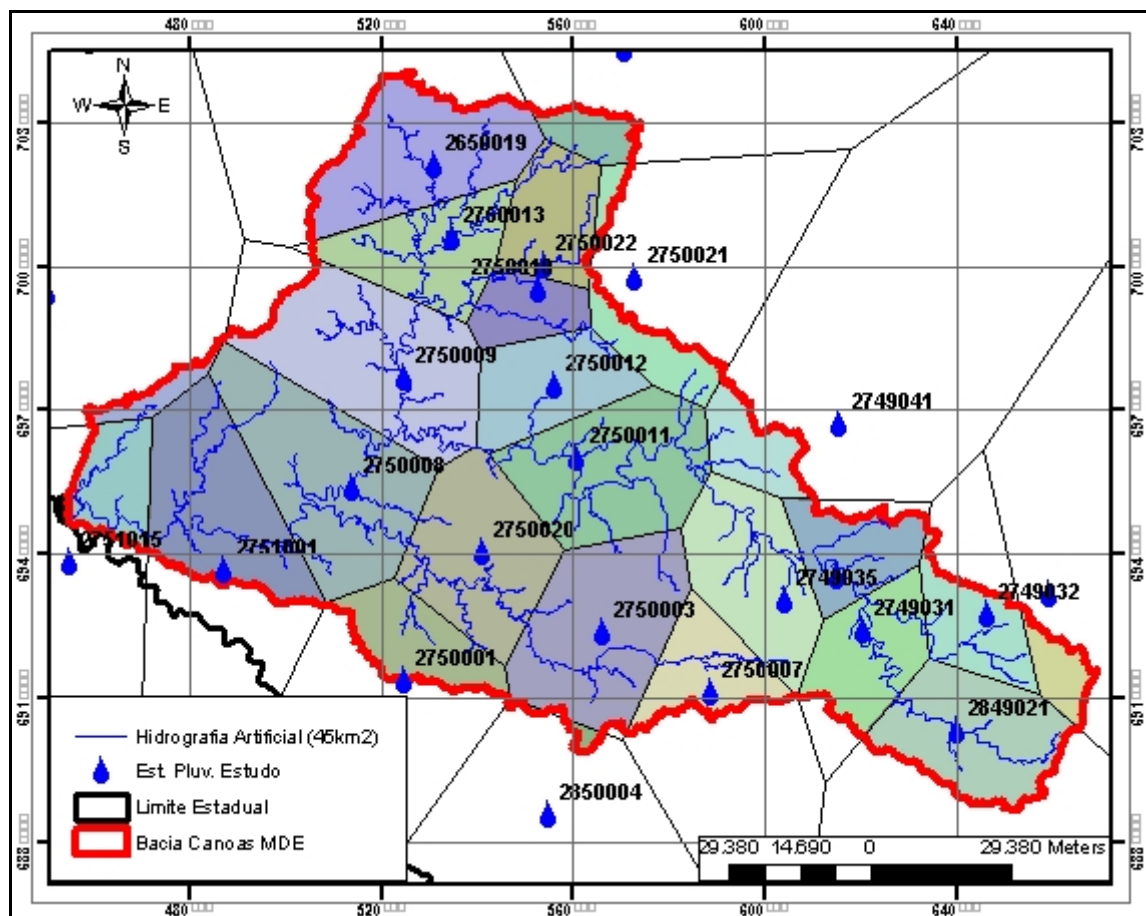


Figura 22: Resultado da determinação dos Polígonos de Thiessen para a Bacia Hidrográfica do Rio Canoas considerando as estações pluviométricas utilizadas no estudo.

O outro método de interpolação espacial da precipitação média na bacia hidrográfica foi o das Isoietas. A Figura 23 mostra o resultado da aplicação do modelo de interpolação

para a geração automática de isoietas para a bacia hidrográfica. Foi utilizado um método de interpolação geoestatística, com o método de cálculo de *Kriging Universal* dos dados pontuais (MARIN, 2005). As isoietas foram geradas a partir de isolinhas de precipitação de 50 a 50 mm

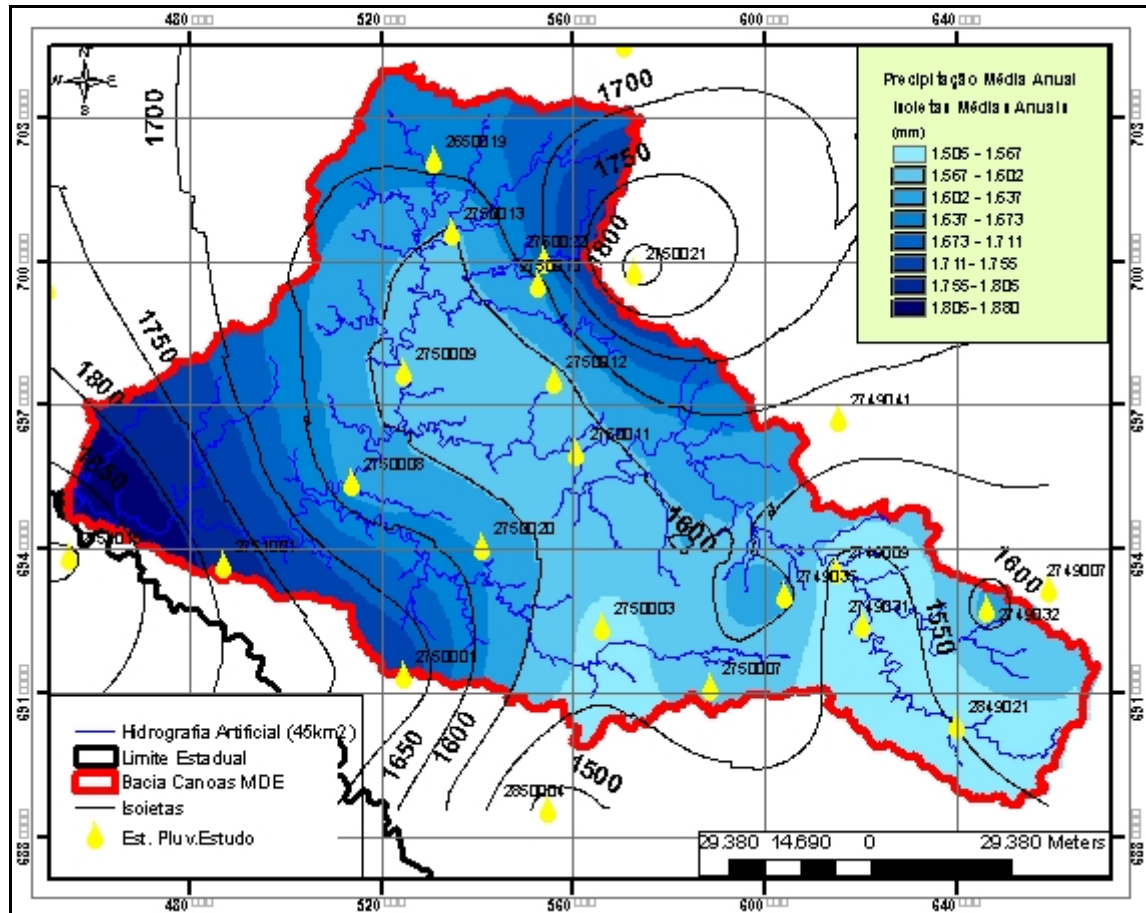


Figura 23: Arquivo RASTER resultado da interpolação espacial utilizando o método de Kriging Universal para determinação das Isoietas de precipitação média na bacia Hidrográfica do Rio Canoas.

O arquivo de precipitação média foi gerado em formato RASTER em um GRID de 30 metros para permitir o cruzamento direto com os outros arquivos GRID gerados a partir do processamento do MDE.

Foi calculada também uma série histórica de precipitações médias mensais pelo método de Thiessen para a bacia inteira. A Figura 24 mostra o resultado desta interpolação por meio dos dados da série temporal de 40 anos gerada para a bacia hidrográfica. Pode-se observar um comportamento constante durante a série de tempo considerada, com destaque para um grande evento de cheia em 1984.

A Figura 25 apresenta a precipitação média mensal, organizada por meses no ano hidrológico, de forma a ilustrar o comportamento pluviométrico na bacia no decorrer de um ano médio. Nessa figura, pode-se observar que as menores precipitações médias estão nos meses de março a junho e as maiores precipitações médias nos meses de outubro, janeiro e fevereiro.

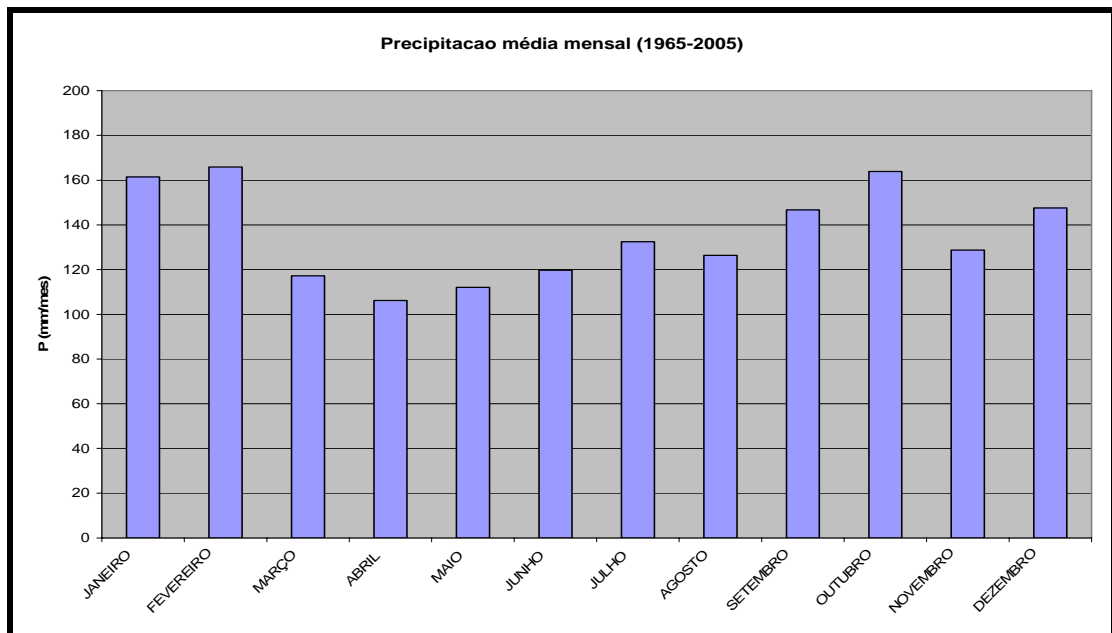


Figura 24: Gráfico de precipitação média mensal para a Bacia Hidrográfica do Rio Canoas calculado através do método de Thiessen para o período de 1965 a 2005.

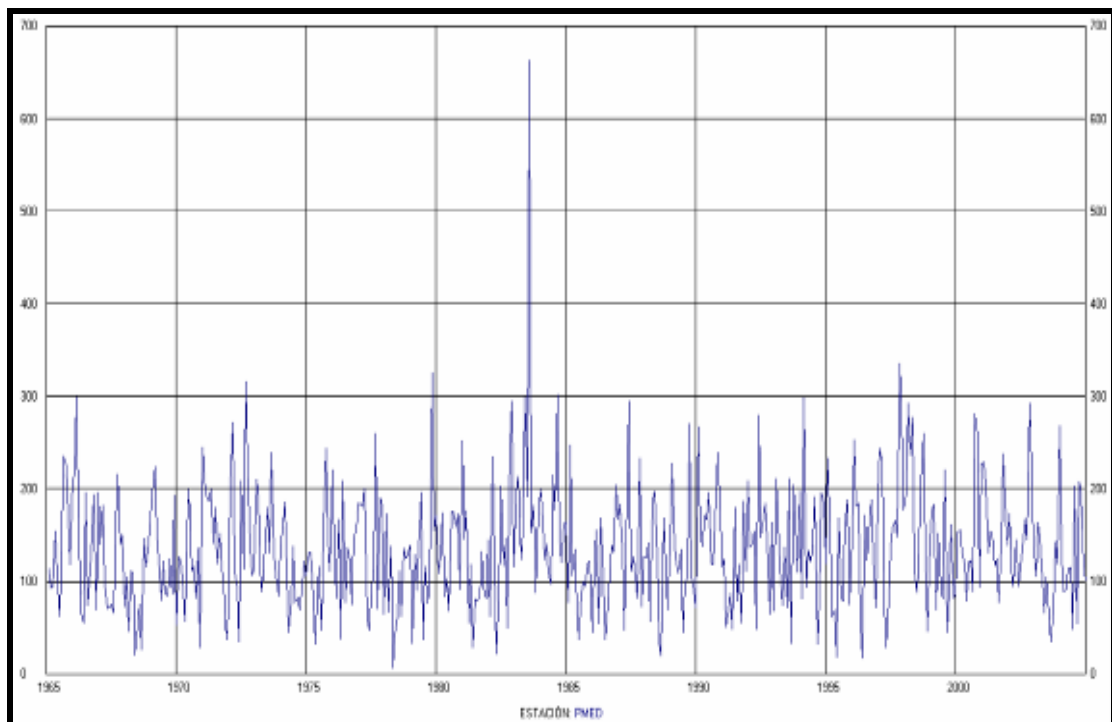


Figura 25: Série completa de precipitação média mensal para a Bacia Hidrográfica do Rio Canoas calculada através do método de Thiessen para o período de 1965 a 2005.

3.5.2 Regionalização de Vazões

As vazões representam a parte do ciclo hidrológico na qual a água se encontra em escoamento superficial pelas superfícies do terreno resultando no escoamento superficial dos rios, riachos e córregos. O escoamento superficial está diretamente relacionado às características de solo, topografia, cobertura vegetal, condições climáticas, geológicas da bacia hidrográfica e com o fluxo das águas subterrâneas (MARIN, 2005).

Devido à pequena quantidade de estações fluviométricas na Bacia do Rio Canoas, o que de certo modo está condizente com a realidade nacional, deve-se recorrer a métodos alternativos para a avaliação dos aspectos quantitativos que dizem respeito à disponibilidade de água para a bacia.

A regionalização de vazões é uma alternativa para a transferência de informações de um local para outro dentro de uma área de comportamento hidrológico semelhante. Essa regionalização é realizada com o objetivo de se obterem informações hidrológicas em locais sem dados ou com poucos dados (Tucci, 2002).

Segundo Tucci (2004), as principais variáveis explicativas das características físicas utilizadas na regionalização são as áreas de drenagem, comprimento do rio principal, declividade média do rio principal, densidade de drenagem e desnível. No entanto, a precipitação média geralmente é a variável explicativa mais utilizada para estudos de regionalização de vazões, podendo ser também utilizada a precipitação máxima média de um dia.

O Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) desenvolveu, em 2001, o Estudo de Regionalização de vazões para a Bacia do Rio Uruguai (IPH, 2001), com objetivo de realizar os estudos de regionalização hidrológica das vazões características de longo termo da bacia do Uruguai (bacia 7) integrando os dados consistidos das estações fluviométricas localizados nas sub-bacias 70 a 77, o qual inclui a Bacia do Rio Canoas (Sub-bacia 71).

As equações 3 a 5 apresentam respectivamente as equações para a regionalização das vazões médias de longo período, das vazões com permanência de 95% de tempo e das vazões mínimas em sete dias consecutivos por um período de retorno de 10 anos ($Q_{7,10}$) elaborados pelo IPH.

$$Q_{med} = 0,0216A^{0,948}P^{1,075} \quad (3)$$

$$Q_{95} = 0,00221A^{1,056} \quad (4)$$

$$Q_{min}(T, t) = 0,00254A^{1,028}t^{0,275} \left(\ln \frac{T}{T-1} \right)^{0,362} \quad (5)$$

Onde: A Precipitação P é dada em (mm), a área A é em km^2 , a duração t é dada em dias e o período de retorno T é dado em anos.

O Governo de Santa Catarina, através do relatório técnico de Regionalização de Vazões das Bacias Hidrográficas Estaduais do Estado de Santa Catarina, elaborado pelo Consórcio ENGECORPS *et al* (2006), com financiamento do Banco Mundial, apresenta um estudo de naturalização de vazões dos postos fluviométricos de Santa Catarina e desenvolve um modelo de regionalização de vazões para as bacias do Estado. Esse trabalho foi apresentado em fevereiro de 2006 e posteriormente disponibilizado ao público.

A renaturalização de vazões tem como objetivo converter dados de postos fluviométricos, em séries históricas de vazões sem considerar as derivações realizadas antes da estação, de forma a representar a realidade hídrica da bacia, sem o consumo dos usuários já instalados nela. (WURBS, 2006).

As equações 6 a 11 apresentam respectivamente as equações para a regionalização das vazões médias de longo período, das vazões com permanência de 95% de tempo e das vazões mínimas em sete dias consecutivos por um período de retorno de 10 anos ($Q_{7,10}$) desenvolvidas pelo consórcio.

$$Q_{mlt} = 1,240.10^{-4} * P^{0,759} * AD^{0,968} \quad (6)$$

$$Q_{p95\%} = Cf * Q_{mlt} \quad (7)$$

$$Cf = 0,24(regIV / P95\%) \quad (8)$$

$$Q_{min 7} = 4,984.10^{-3} * AD^{0,986} \quad (9)$$

$$Q_{\min(7,10)} = K * Q_{\min 7} \quad (10)$$

$$K = 0,57(\text{regIV} / T = 10\text{anos}) \quad (11)$$

Onde: A Precipitação P é dada em (mm), a área A é em km^2 , a duração t é dada em dias e o período de retorno T é dado em anos.

3.5.3 Estimativa da disponibilidade hídrica

Foram aplicadas as equações de regionalização de vazões por meio de um modelo de cálculo espacialmente distribuído. A equação de regionalização foi aplicada a todas as células de 30 x 30 metros do GRID elaborado, pelo cruzamento dos arquivos gerados para a precipitação média e de áreas de drenagem por célula. Esta operação é realizada utilizando as ferramentas de cálculo de arquivos RASTER *Raster Calculator*, que permite a realização de operações aritméticas de cruzamento de arquivos, considerando a localização geográfica de cada célula e o seu atributo.

Os arquivos gerados permitem a determinação de todos os índices hidrológicos com resolução espacial de 90 metros quadrados em qualquer coordenada da bacia hidrográfica. Sua consulta pode ser realizada por meio de qualquer ferramenta de consulta em banco de dados, necessitando apenas das coordenadas geográficas do ponto de interesse, e, automaticamente, pode-se obter o valor de sua área de drenagem, a vazão média de longo período associada, a disponibilidade hídrica, a vazão disponível para outorga e a permanência de vazões em 95 % do tempo.

Foram utilizados os dados de distribuição espacial média de pluviometria e a distribuição espacial das áreas de drenagem em toda a superfície da bacia. Para cada célula de 30 metros por 30 metros, que formam o GRID do arquivo RASTER utilizado, foi aplicado o modelo de regionalização segundo cada equação estabelecida, para cada índice hidrológico. O resultado é um arquivo com os índices hidrológicos espacializados de toda a bacia hidrográfica, com resolução espacial de 90 metros quadrados.

A Figura 26 apresenta os resultados espacializados da aplicação dos modelos de regionalização para a bacia hidrográfica, respectivamente, de vazão média de longo período,

Vazão mínima de sete dias de duração para período de retorno de 10 anos, a vazão de permanência em 95 % do tempo.

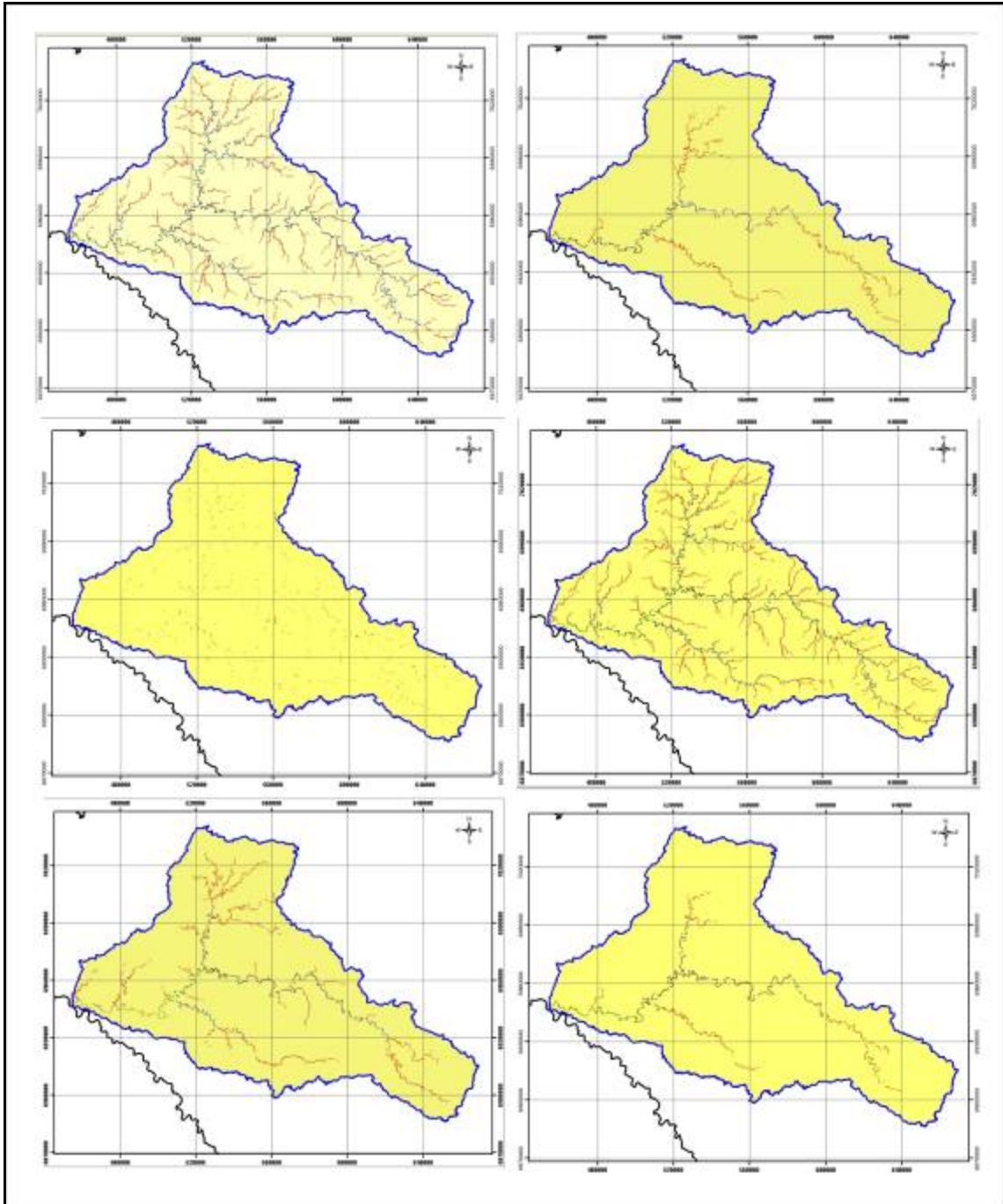


Figura 26: Seis arquivos GRID resultados dos cálculos do modelo de regionalização para os índices hidrológicos da $Q(\text{média})$, $Q(7,10)$ e $Q(95)$ calculados pelas equações do IPH (2001) e ENGECORPS *et al* (2006).

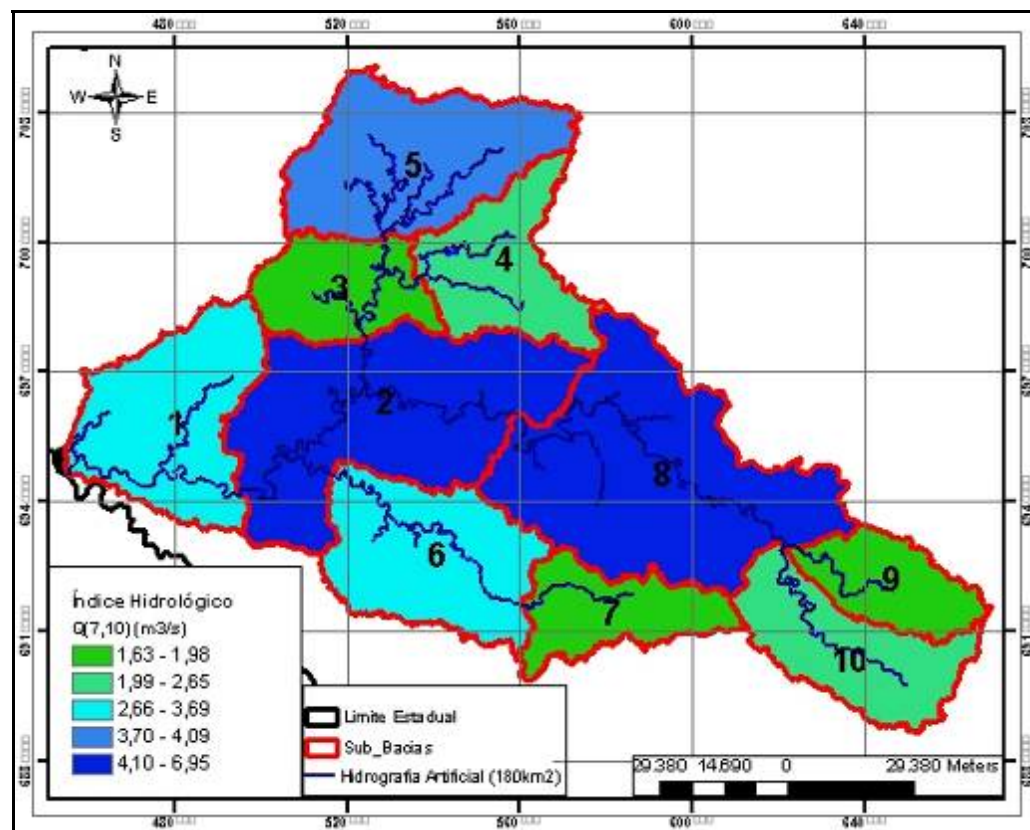
As Tabelas 8 e 9 apresentam o resultado do cálculo dos índices hidrológicos para as sub-bacia utilizadas e as Figuras 27 a 29 apresentam a espacialização dos índices calculados por sub-bacia hidrográfica.

Tabela 8: Determinação dos índices hidrológicos por sub-bacias considerando as Eq. de regionalização do IPH.

BACIA	AREA (km ²)	Q(7,10) (m ³ /s)	Qmedia (m ³ /s)	Q95 (m ³ /s)	30%Q(7,10) (m ³ /s)	50%Q(7,10) (m ³ /s)	Acum. (Q7 10) (m ³ /s)	Acum. (q95) (m ³ /s)	Acum. (qmedia) (m ³ /s)
1	1564,08	3,69	42,09	5,22	1,11	1,84548681	37,39	56,3	384,1
2	2627,97	6,29	68,97	9,03	1,89	3,14618089	33,41	50,167	319,74
3	853,24	1,98	23,64	2,75	0,59	0,98981931	8,79	12,73	84,59
4	1057,91	2,47	29,01	3,45	0,74	1,2346581	2,46	3,34	26,2
5	1726,94	4,09	46,25	5,79	1,23	2,04330537	4,08	5,79	41,85
6	1518,19	3,58	40,91	5,06	1,07	1,78984732	5,52	7,9	57,34
7	797,73	1,85	22,17	2,56	0,55	0,92367461	1,85	2,56	19,72
8	2894,52	6,95	75,62	10,00	2,08	3,47467862	11,51	16,79	107,526
9	704,21	1,63	19,69	2,25	0,49	0,81255167	1,62	2,24	17,021
10	1132,81	2,65	30,96	3,71	0,79	1,32461079	2,64	3,77	26,73

Tabela 9: Determinação dos índices hidrológicos por sub-bacia considerando as equações de regionalização da Engecorps.

BACIA	AREA (km ²)	Q(7,10) (m ³ /s)	Qmedia (m ³ /s)	Q95 (m ³ /s)	30%Q(7,10) (m ³ /s)	50%Q(7,10) (m ³ /s)	Acum. (Q7 10) (m ³ /s)	Acum. (q95) (m ³ /s)	Acum. (qmedia) (m ³ /s)
1	1564,08	3,78	63,11	14,80	1,134	1,89	36,94	99,34	414,301
2	2627,97	6,11	75,91	18,49	1,833	3,055	33,16	84,54	351,19
3	853,24	2,07	19,68	4,72	0,621	1,035	9,21	22,42	93,45
4	1057,91	2,72	28,25	6,78	0,816	1,36	2,72	6,78	28,25
5	1726,94	4,42	45,53	10,92	1,326	2,21	4,42	10,92	45,525
6	1518,19	3,84	40,82	9,79	1,152	1,92	5,90	14,89	62,07
7	797,73	2,06	21,25	5,10	0,618	1,03	2,06	5,10	21,25
8	2894,52	7,21	72,07	17,30	2,163	3,605	11,94	28,74	119,763
9	704,21	1,82	18,46	4,43	0,546	0,91	1,82	4,43	18,456
10	1132,81	2,91	29,24	7,01	0,873	1,455	2,91	7,01	29,24

**Figura 27:** Valor calculado do índice Q(7,10) por sub-bacias de controle na Bacia Hidrográfica do Rio Canoas, pela equação do IPH.

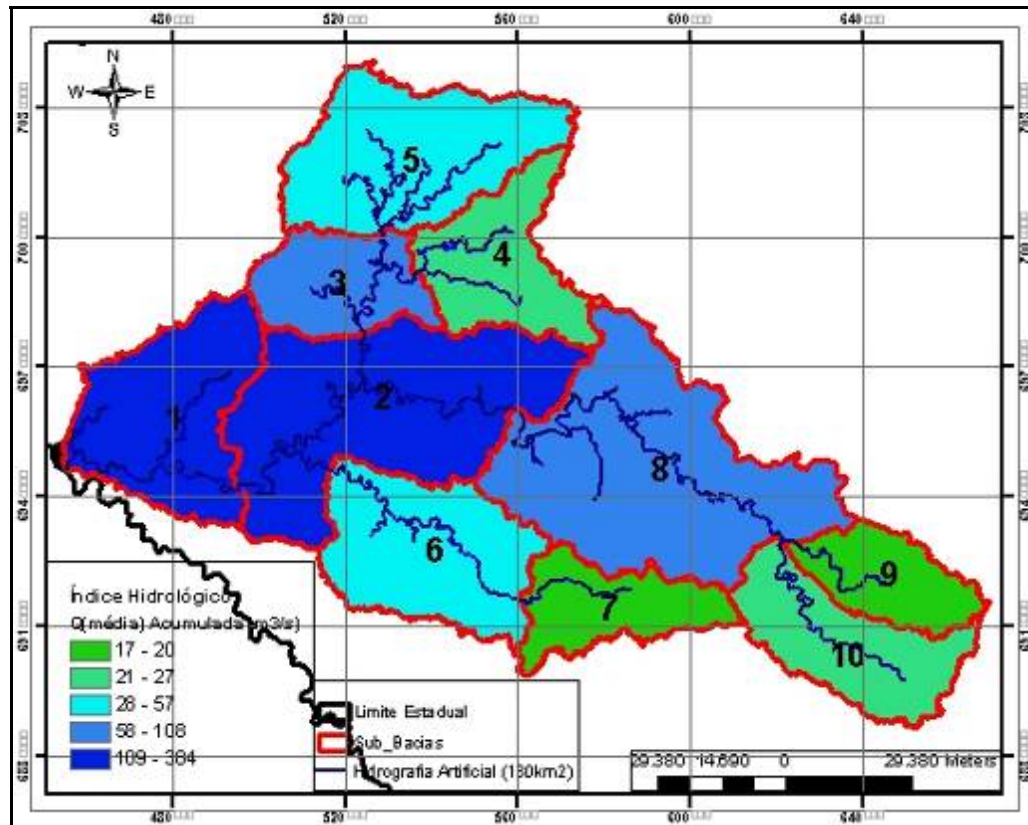


Figura 28: Valor calculado do índice Q(média) por sub-bacias de controle na Bacia Hidrográfica do Rio Canoas, pela equação do IPH.

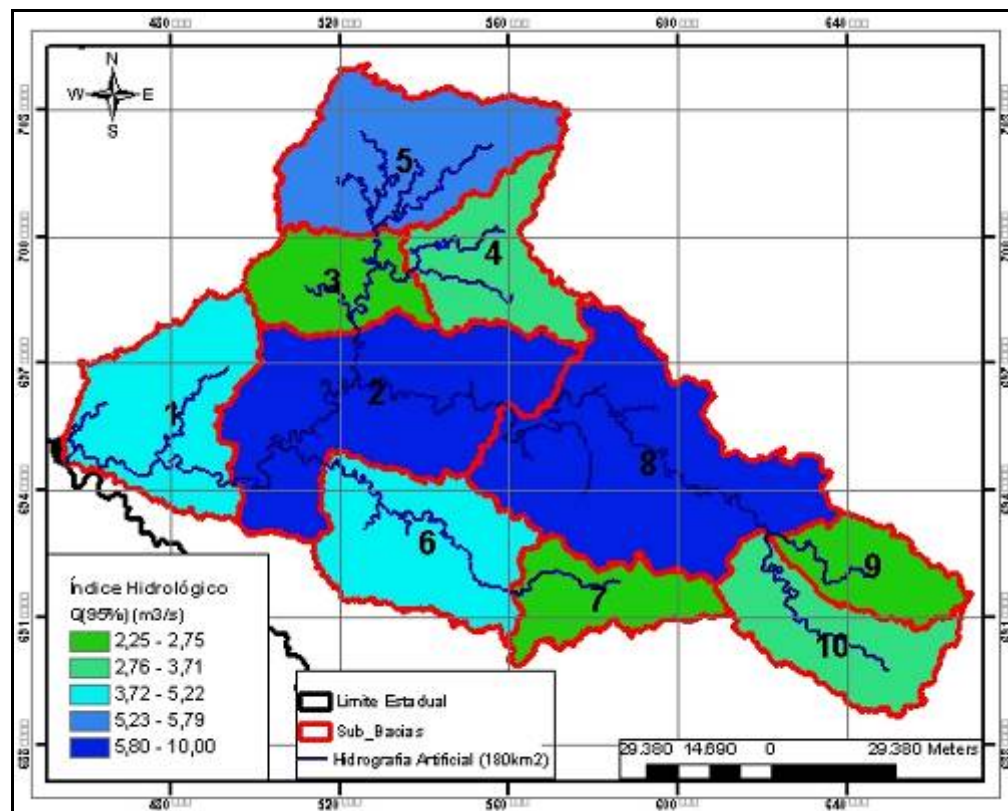


Figura 29: Valor calculado do índice Q(95) por sub-bacias de controle na Bacia Hidrográfica do Rio Canoas, pela equação do IPH.

3.5.4 Validação da disponibilidade hídrica

Os modelos de regionalização de vazões são o resultado de análises estatísticas sobre dados específicos, levantados para cada estudo de regionalização. As variáveis de entrada, como a precipitação média para o ponto de estudo e a sua área de drenagem, não são disponibilizados junto com as respectivas equações de regionalização com precisão satisfatória para estudos realizados espacialmente na bacia hidrográfica.

A diferença em métodos de obtenção e critérios utilizados, para a delimitação de bacias hidrográficas e interpolação visual da precipitação média, geram resultados diferentes dos modelos originais. Para aferir a qualidade dos índices hidrológicos calculados pelas equações de regionalização, foi realizada uma comparação dos resultados do modelo de regionalização, com os dados estatísticos de estações fluviométricas existentes na bacia hidrográfica.

A tabela 10 apresenta uma relação de todas as estações fluviométricas cadastradas nos dois sistemas de informação hidrológica consultados, o HIDROWEB e o HIDROGEO, assim como a sua caracterização básica com relação à localização, disponibilidade de dados no sistema e o número de anos disponíveis totais e completos. Existem registros de 46 estações fluviométricas na Bacia Hidrográfica do Rio Canoas no banco de dados da ANA, sendo que muitas delas estão desativadas há muito tempo e apresentam registros inconsistentes.

Tabela 10 - Estações Fluviométricas cadastradas nos sistemas de informações hidrológico na área da Bacia Hidrográfica do Rio Canoas.

COD	NOME	ALT.	ÁREA	LOC. GEO.		BASE	BASE	DADOS	
			DREN	UTM	UTM	HIDROGEO	HIDROWEB	TOT.	COMP
		(m)	(km2)			ANEEL	ANA	(anos)	(anos)
71050000	URUBICI	997	95	639281	6900128	X		0	0
71495000	PONTE DO RIO TIMBO	920	281	534720	7011657	X	X	10	10
71496000	PONTE DO RIO	800	548	534705	7006118	X	X	26	22
	CORRENTES								
71491000	BOSSARDI GOETTEN	920	453	546222	6991316	X	X	3	3
71492000	CURITIBANOS	820	1140	536318	6991349	X		0	0
71490000	PONTE MAROMBAS	920	360	552979	6989594	X	X	41	39
71498000	PASSO MAROMBAS	829	3654	524652	6976890	X	X	113	113
71385000	PONTE DO RIO	940	41	556051	6974660	X		0	0
	ANTINHAS								
71540080	SAO ROQUE	729	9650	521414	6963692	X		0	0
71387000	SALTO PERY	0	5230	542811	6961787	X		0	0
71383000	PONTE ALTA DO SUL	840	4631	560816	6960149	X	X	49	48
71350000	ENCRUZILHADA	840	2980	585608	6957874	X	X	60	59
71950000	USINA PIRATUBA	500	221	463791	6954431	X		0	0
71550000	PASSO CARU	720	9868	513853	6953978	X		0	0
71352000	ENCRUZILHADA-	850	3240	588858	6952311	X		0	0
	BALSA								
71380000	CANOAS	820	4490	562525	6952474	X	X	17	17
71960080	CAMPOS NOVOS	481	14200	467104	6948901	X		0	0
71850000	PASSO DO CANOAS	0	14200	460526	6947032	X		0	0
71330080	BARRA DO	827	2200	616759	6944687	X		0	0
	PESSEGUEIRO								
71810080	GARIBALDI	620	13200	486847	6945239	X		0	0
71750000	PASSO SANTO	680	13430	498352	6943407	X		0	0
	ANTONIO								
71800000	COLONIA SANTANA	680	13114	495068	6941556	X	X	22	22
72300000	PASSO DO VIRGILIO	420	29114	429514	6957857		X	30	21
71200000	VILA CANOAS	900	989	620368	6924077		X	42	42
71300000	RIO BONITO	900	1984	615030	6935485		X	60	59
71320000	JOANA	900	2250	608489	6939238		X	4	4
71350001	ENCRUZILHADA II	800	3360	566130	6923849		X	37	19
71630000	CAPAO ALTO	920	939	560698	6915569		X	6	6
71250000	PONTE RIO JOAO	900	512	635304	6920964		X	43	42
	PAULO								
71050000	URUBICI	997	95	639281	6900128	X		0	0
71495000	PONTE DO RIO TIMBO	920	281	534720	7011657	X	X	10	10
71496000	PONTE DO RIO	800	548	534705	7006118	X	X	26	22
	CORRENTES								

A Figura 30 apresenta o resultado espacializado do inventário de estações fluviométricas na área da bacia hidrográfica do Rio Canoas.

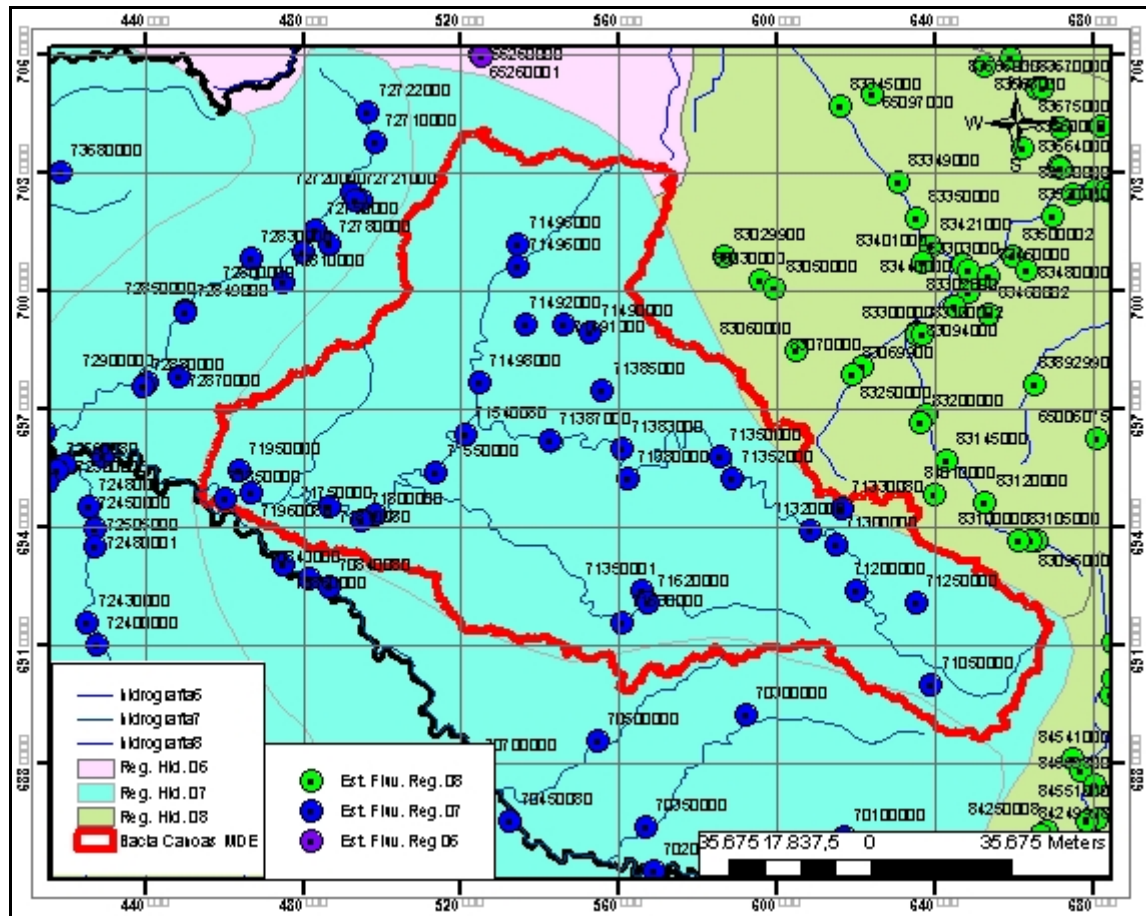


Figura 30: Inventários de Estações fluviométricas na Bacia Hidrográfica do Rio Canoas e região.

Das 46 estações preliminarmente analisadas, apenas 17 possuíam registros de séries históricas disponíveis para consulta do banco de dados com informações referentes à medição de vazão. A Tabela 11 apresenta um quadro resumo das 17 estações com informações sobre o total de anos completos, os anos totais registrados e a sua estatística básica. A Figura 31 apresenta o resultado da verificação da consistência dos dados através de um diagrama de barras das estações em relação a disponibilidade de dados em todo o período histórico disponível.

Tabela 11 - Quadro resumo da disponibilidade de dados das Estações Fluviométricas disponíveis na Bacia Hidrográfica do rio Canoas. Um total de 17 estações fluviométricas, com um período registrado total de 65 anos de 1940/41 até 2004/05

Estações	Anos totais	Completos	Média	Var.	Ass.
7135	60	55	66,56	0,54	0,81
71496	26	18	7,33	0,88	0,14
7120	42	41	29,08	0,42	0,48
7230	30	21	197,41	0,78	-0,10
7130	60	56	47,51	0,48	0,05
7132	4	4	58,38	0,38	0,26
713501	19	18	80,04	0,47	-0,60
71630	6	5	14,40	0,64	-0,18
7180	22	21	283,35	0,40	-0,67
71498	62	61	85,72	0,47	0,84
71495	10	9	3,92	0,50	-0,56
71491	3	3	1,97	1,73	1,73
7149	41	34	8,16	0,59	-0,34
71383	49	47	107,04	0,43	-0,24
7138	17	15	67,12	0,68	0,59
7125	43	39	12,61	0,46	-0,19
7155	51	50	81,17	0,50	1,09

Como critério de adoção ou não da estação fluviométrica ao estudo foi utilizado um período de cinco anos completo como mínimo, a disponibilidade espacial de dados e a sua pertinência geográfica com a área de estudo. A Figura 32 apresenta a localização das estações fluviométricas utilizadas no estudo.

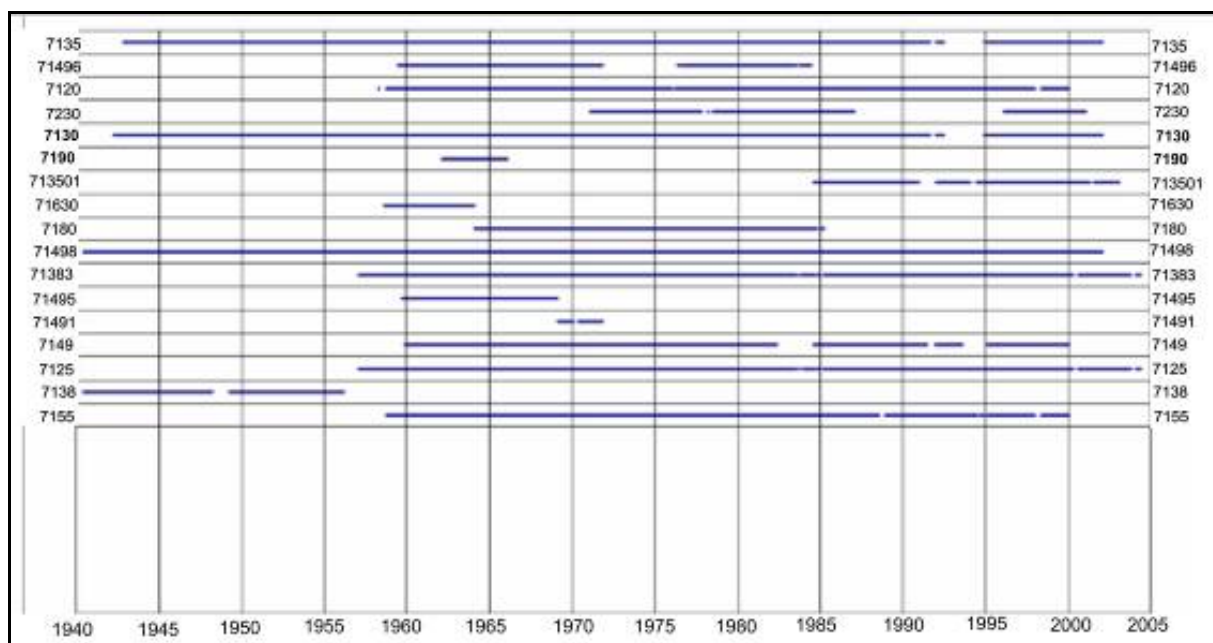


Figura 31: Análise de consistência dos dados fluviométricos por estação fluviométrica na Bacia Hidrográfica do Rio Canoas.

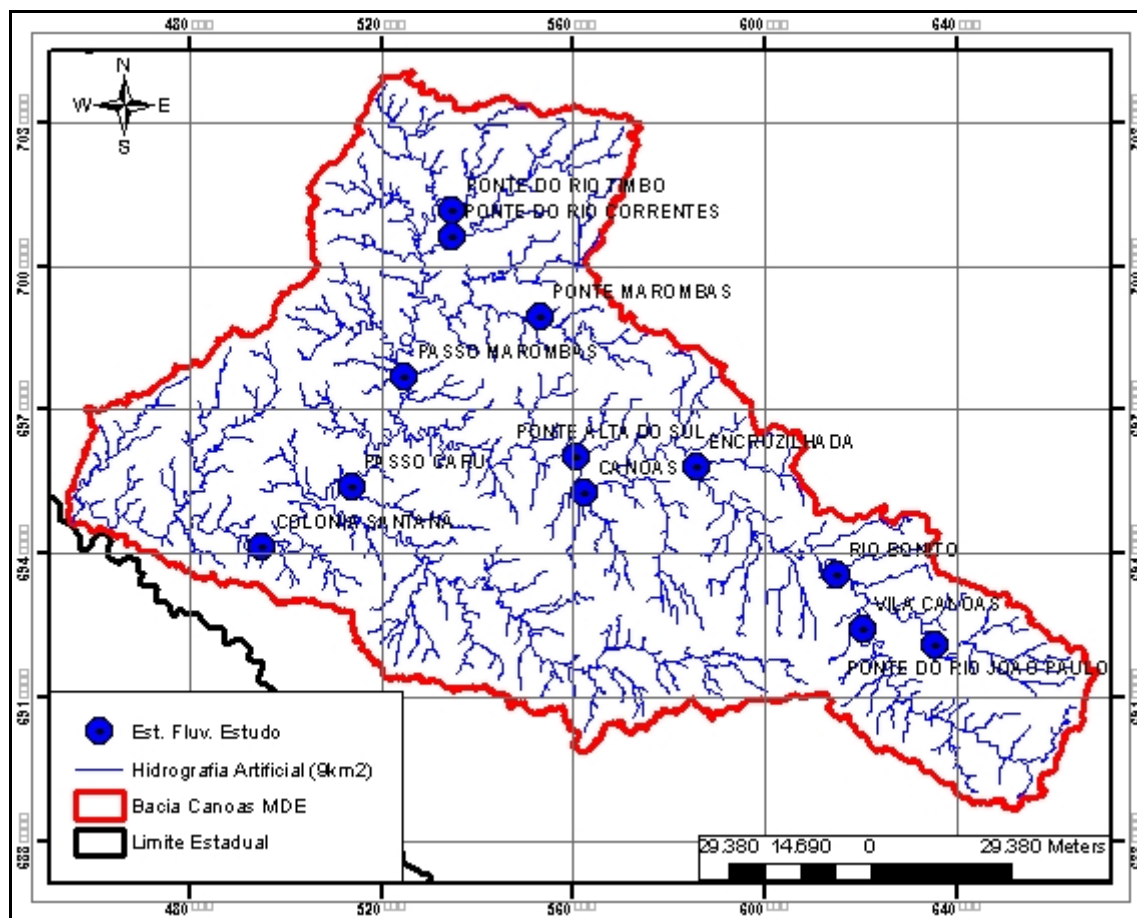


Figura 32: Estações fluviométricas na Bacia Hidrográfica do Rio Canoas utilizadas para o estudo.

A verificação dos resultados do modelo de regionalização de vazões para a bacia hidrográfica foi realizada por meio da comparação entre os valores calculados para os pontos de coordenadas referentes às das estações fluviométricas, e os resultados estatísticos das séries históricas, para cada índice hidrológico respectivamente. A Tabela 12 apresenta a avaliação do método para a delimitação automática de bacias hidrográficas, comparando a área registrada pela ANEEL e a área calculada pelo modelo. As Tabelas 13 e 14 avaliam os resultados encontrados pelo modelo para os índices hidrológicos de vazão média e vazão de permanência em 95 % do tempo, comparando com os dados do IPH e da ANEEL.

Tabela 12: Análise para verificação dos resultados do estudo hidrológico, considerando o parâmetro de área de drenagem.

ESTAÇÕES	NOME	ÁREA DE DRENAGEM		
		ANEEL	Modelo	Erro(%)
71200000	VILA CANOAS	1038	1013	2
71250000	PONTE DO RIO JOÃO PAULO	498	487	2
71300000	RIO BONITO	2044	1968	4
71350000	ENCRUZILHADA	3190	3324	-4
71380000	CANOAS	4551	4520	1
71383000	PONTE ALTA DO SUL	4754	4724	1
71490000	PONTE MAROMBAS	385	337	12
71495000	PONTE DO RIO TIMBO	280	244	13
71496000	PONTE DO RIO CORRENTES	539	538	0
71498000	PASSO MAROMBAS	3817	3640	5
71550000	PASSO CARU	10998	10094	8
71800000	COLONIA SANTANA	11053	13313	-20

Tabela 13: Análise para verificação dos resultados do estudo hidrológico, considerando o parâmetro de vazão média de longo período.

ESTACOES	NOME	VAZÃO MÉDIA DE LONGO PERÍODO					
		ANEEL	IPH	SDS	Modelo	Erro/ANEEL (%)	Erro/IPH(%)
71200000	VILA CANOAS	31,71	26,11	26,005	23,7214	25	9
71250000	PONTE DO RIO JOÃO PAULO	13,08	11,84	13,14	12,2982	6	-4
71300000	RIO BONITO	50,06	48,2	50,22	45,5099	9	6
71350000	ENCRUZILHADA	82,23	78,82	86,865	79,0903	4	0
71380000	CANOAS	78,87	111,03	114,751	103,172	-31	7
71383000	PONTE ALTA DO SUL	115,38	115,51	119,564	105,355	9	9
71490000	PONTE MAROMBAS	9,88	10,12	9,493	9,0648	8	10
71495000	PONTE DO RIO TIMBO	4,59	6,84	7,306	7,009	-53	-2
71496000	PONTE DO RIO CORRENTES	11,88	13,26	14,756	13,8895	-17	-5
71498000	PASSO MAROMBAS	77,77	74,92	93,5935	84,5941	-9	-13
71550000	PASSO CARU	244,43	252,46	255,44	227,499	7	10
71800000	COLONIA SANTANA	288,24	259,88	351,355	318,778	-11	-23

Tabela 14: Análise para verificação dos resultados do estudo hidrológico, considerando o parâmetro de vazão de permanência q(95).

ESTACOES	NOME	VAZÃO DE PERMANÊNCIA COM 95 % DO TEMPO					
		ANEEL	IPH	SDS	Modelo	Erro/ANEEL (%)	Erro/IPH(%)
71200000	VILA CANOAS	5,54	3,69	6,24	3,3	40	11
71250000	PONTE DO RIO JOÃO PAULO	1,58	1,15	3,15	1,52	4	-32
71300000	RIO BONITO	8,8	6,27	12,05	6,65	24	-6
71350000	ENCRUZILHADA	14,1	10,53	20,846	11,56	18	-10
71380000	CANOAS	11,3	16,29	27,54	16	-42	2
71383000	PONTE ALTA DO SUL	20,4	18,6	28,702	16,77	18	10
71490000	PONTE MAROMBAS	1,51	1,3	2,27	1,03	32	21
71495000	PONTE DO RIO TIMBO	0,75	0,83	1,75	0,73	3	12
71496000	PONTE DO RIO CORRENTES	2,67	1,66	3,541	1,69	37	-2
71498000	PASSO MAROMBAS	11,7	6,18	2,241	12,73	-9	-106
71550000	PASSO CARU	42,6	45,32	61,30	37,38	12	18
71800000	COLONIA SANTANA	56,5	50,3	84,328	50,07	11	0

A análise dos resultados de delimitação de áreas de drenagem mostrou que 10 pontos testados apresentaram erro menor que 10 %, sendo que outros três pontos, erros de 12, 13 e 20 %. Essa margem de diferença foi considerada aceitável.

Com relação à verificação das vazões médias, em comparação com os valores pré-calculados pelo IPH, os resultados mostraram erros menores que 10% em 10 estações e o maior erro na estação Colônia Santana com 21 % de diferença. Já em comparação com os valores estatísticos das estações da ANEEL, a margem de diferença foi maior, apresentando valor máximo de diferença de 53 % na estação de Ponte Rio Timbó. A Figura 33 apresenta o gráfico comparativo entre os resultados para o índice de vazão média de longo período nas estações fluviométricas.

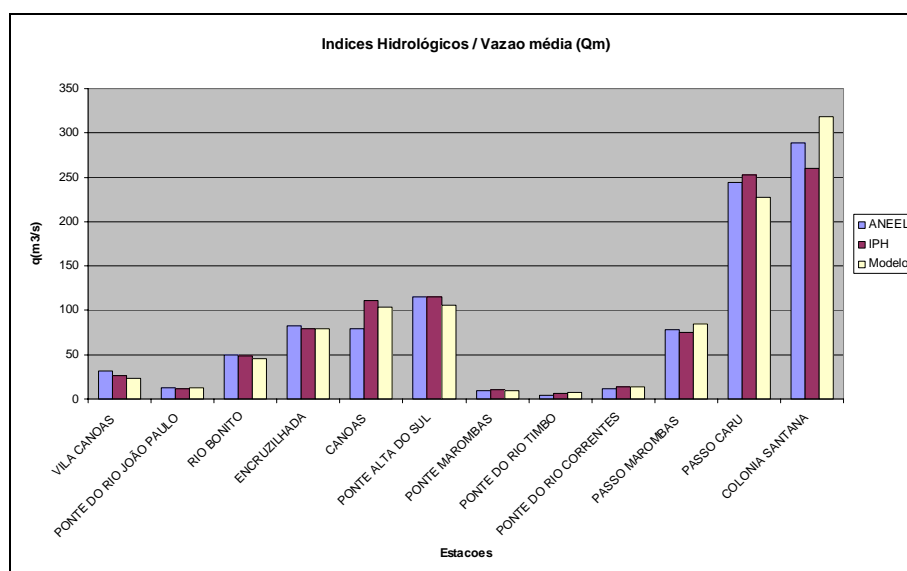


Figura 33: Gráfico comparativo dos valores do índice hidrológico de Vazão Média de Longo Período calculados por diferentes métodos para as Estações fluviométricas na Bacia do Hidrográfica do Rio Canoas utilizadas para o estudo.

A vazão de permanência $Q(95)$ foi a que apresentou maior distanciamento entre os valores calculados. Destaque para a estação Passo Marombas que, apesar do resultado do modelo apresentar um alto erro com relação ao valor do IPH, apresentou boa representatividade do posto da ANEEL. A Figura 34 apresenta o gráfico comparativo dos índices da vazão $Q(95)$ para as estações fluviométricas. Os índices de disponibilidade hídrica foram utilizados considerando que os erros encontrados fazem parte da incerteza do modelo de cálculo.

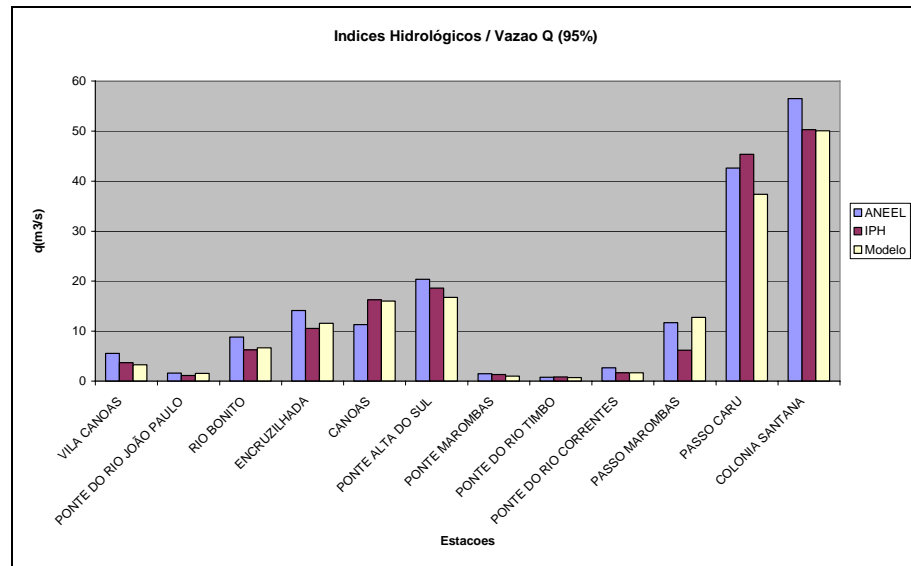


Figura 34: Gráfico comparativo dos valores do índice hidrológico de Vazão de Permanência em 95 % do tempo calculados por diferentes métodos para as Estações fluviométricas na Bacia do Hidrográfica do Rio Canoas utilizadas para o estudo.

3.6 Estimativa de usuários

O conhecimento das vazões consumidas pelos diversos usuários de água na bacia hidrográfica é de suma importância para subsidiar a tomada de decisão na gestão de recursos hídricos, uma vez que permite determinar a sua disponibilidade no tempo e no espaço, ou seja, identificar áreas em que este recurso encontra-se ou pode vir a se tornar escasso (RODRIGUEZ *et al* 2006).

Diversas metodologias podem ser adotadas para o levantamento dos usuários da bacia, que, devido a sua grande área e diversidade de usos da água, não é uma tarefa simples. Paiva *et al* (2000) já estudaram uma metodologia para quantificação da demanda de água na Bacia do Rio Ibicuí, RS, e apresentam passos importantes como: a coleta de dados preliminares; definição da ficha cadastral; envio de correspondência; visitas as propriedades, processamento dos dados, organização de dados cadastrais.

Apesar do cadastro de usuários ser uma ferramenta fundamental para a aplicação correta e precisa dos instrumentos de gerenciamento de recursos hídricos em uma bacia hidrográfica, no Estado de Santa Catarina ainda não existe um sistema integrado e público de

cadastro de usuários da bacia hidrográfica do Rio Canoas, de forma que essas informações ainda não estão disponíveis.

Uma dificuldade encontrada para a aplicação do instrumento de outorga na maioria dos estados brasileiros é justamente a ausência de cadastros de usuários. Conforme relatado por ENGECORPS *et al* (2006), no Estado de Santa Catarina e seus estados limítrofes, grande parte dos usuários de recursos hídricos também ainda não está cadastrada nos órgãos competentes.

Dessa forma, para viabilizar a construção de cenários do uso da água na bacia hidrográfica e estudar critérios de outorga do uso da água, adotou-se uma metodologia para a estimativa de demandas de água baseada no levantamento de dados secundários, conforme proposto por Rodriguez *et al* (2006), pois o foco do trabalho não era realizar um cadastro exaustivo de usuários de água na bacia, e sim mostrar o potencial do uso de um modelo de suporte a decisão para subsidiar o gerenciamento quantitativo da outorga e uso de água na bacia.

Foram selecionados os principais usos da água, dentre os mais representativos na bacia, segundo sua importância e relevância local. Esse levantamento de dados secundários buscou inventariar as informações relativas às atividades potenciais consumidoras de água na bacia e suas respectivas demandas. Por se tratar de uma das maiores bacias hidrográficas do Estado de Santa Catarina, inúmeras atividades com uso direto de água se desenvolvem na bacia. Esses usos foram agrupados por categorias segundo suas atividades.

Os principais usos da água identificados na Bacia Hidrográfica do Rio Canoas, de uma maneira geral, estão presentes na maioria das bacias hidrográficas brasileiras, sendo eles:

- Abastecimento urbano
- Irrigação na agricultura
- Dessedentação de animais
- Abastecimento industrial
- Geração de energia elétrica
- Recreação
- Manter a vazão ecológica
- Recarga do aquífero

Os usos da água considerados para o estudo foram: o abastecimento humano, a dessedentação de animais, o consumo industrial, a demanda agrícola e a manutenção de uma vazão ecológica. Para a realização de todas as estimativas de uso da água foram utilizados

apenas dados oficiais de institutos federais ou estaduais, incluindo os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2000), do Governo do Estado de Santa Catarina (SANTA CATARINA, 1986), através de seus órgãos como a Epagri em (DUFLOTH *et al*, 2005) e (EPAGRI, 1999), Secretaria de Desenvolvimento Regional (SDR, 2006) e a Secretaria de Desenvolvimento Social (SDS, 1997).

Dos usos da água levantados para a bacia, algumas simplificações foram realizadas para poder adequar a disponibilidade de dados secundários e a aplicação do modelo de suporte de decisão na bacia.

O uso para recarga do aquífero não foi considerado, uma vez que depois de consultas bibliográficas diversas e a pesquisadores, principalmente geólogos que atuam na área, foi confirmada a escassez de informação sobre as trocas de água entre os recursos hídricos subterrâneos e superficiais na bacia.

O uso para recreação das águas superficiais não foi quantificado uma vez que tal estimativa requer um estudo mais aprofundado sobre o tema na bacia hidrográfica. De qualquer forma, essa demanda foi considerada atendida pela demanda de Vazão Ecológica, uma vez que esta demanda representa a quantidade mínima de água a ser deixada, em todo o percurso do rio, sem captações, de forma a garantir as adequadas condições ecológicas para o desenvolvimento dos ecossistemas aquáticos.

O uso de água para energia elétrica é um uso não consuntivo, ou seja, a água utilizada é retornada ao rio após a passagem pelas turbinas de geração de energia elétrica. O maior aspecto relacionado ao uso da água para geração de energia elétrica está relacionado ao volume necessário para seu armazenamento nos reservatórios. Esse volume, por sua vez está também relacionado à cota mínima de reservação e à quantidade de água a ser retida pelo barramento no reservatório.

Essas condições de uso da água implicam regras operacionais dos reservatórios e repercutem diretamente na disponibilidade de água a sua jusante. Uma vez que a quantidade de água que aporta à montante do reservatório não é necessariamente a mesma que é liberada a jusante da barragem.

No entanto, as regras de operação dos reservatórios não são disponibilizadas ao público em geral, e, dessa forma, não serão incluídas nos cálculos. Considera-se importante o acoplamento das regras de operação dos reservatórios ao modelo de alocação de água na bacia, principalmente para a decisão de alocação de água na bacia em períodos de estiagem e alta necessidade de geração de energia, fato que pode ocasionar conflitos de uso da água.

3.6.1 Estimativa da demanda de água para consumo humano

A população total da bacia, registrada pelo CENSO do IBGE, de 2000, foi de aproximadamente 400.000 habitantes, merecendo destaque o município de Lages com 157.000 habitantes, seguido por Curitiba, Campos Novos e Fraiburgo, na faixa dos 30.000 habitantes. Ao se analisar o crescimento demográfico, verificou-se que é variável, sendo negativo em algumas cidades pequenas e positivo nos maiores centros urbanos da bacia hidrográfica.

A responsabilidade de abastecimento de água para a população no Estado de Santa Catarina é da CASAN, autarquia estadual de água e esgoto, que atende a grande parte dos municípios do Estado. No entanto, alguns municípios têm o serviço de abastecimento de água municipalizado, condições que vêm aumentando devido ao número de municípios criando sua própria autarquia de água e esgoto.

Os recursos hídricos utilizados para o abastecimento humano são em sua grande maioria de mananciais superficiais, existindo também captações subterrâneas, alternativa que vem ganhando importância e sendo alvo de estudos mais refinados como alternativa de abastecimento aos municípios.

A inclusão dos municípios para o cálculo da demanda humana considerou a localização geográfica de sua sede municipal, utilizando o SIG para verificação da pertinência da inclusão do município no consumo da bacia hidrográfica e a definição da localização dos pontos de demanda de água para abastecimento público conforme a sua localização geográfica.

A Tabela 15 mostra as principais fontes de abastecimento de água dos municípios da bacia, a empresa responsável pelo atendimento e o tipo de manancial.

Tabela 15: Responsável pelo abastecimento urbano por município e fonte de captação.

NOME	CONCES.	ESG.	MANANCIAL	CARTA IBGE	FONTE
ABDON BATISTA	SAMAE		subterranea		sds/auto
ANITA GARIBALDI	CASAN	nao	Lageado dos Antunes/sub	Anita Garibaldi SG 22 YD VI	sdr/casan/sds
BOCAINA DO SUL	CASAN	nao	corrego assink/sub	Bocaina do Sul SG 22 ZC VI 1	sdr/casan/sds
BOM RETIRO	CASAN	nao			
BRUNOPOLIS	SAMAE	nao	subterranea		sds/auto
CACADOR	CASAN	nao	Rio do Peixe/sub	Caçador SG 22 YB VI	casan/sds
CAPAO ALTO	CASAN	nao	Poços Tubulares	Campo Belo do Sul SG 22 ZC IV	casan/sds
CAMPO BELO DO SUL	CASAN	nao	Poços Tubulares	Campo Belo do Sul SG 22 ZC IV	casan/sds
CAMPOS NOVOS	SAMAE	nao	rio Lageado Restingao		sds/auto
CELSO RAMOS	CASAN	nao	Poço Profundo	Anita Garibaldi SG 22 Y D VI	casan/sds
CERRO NEGRO	CASAN	nao	Poço Profundo	Campo Belo do Sul SG 22 Z C IV	casan/sds
CORREIA PINTO	CASAN	nao	rio das pompas	Lajes SG 22 ZC V	sdr/casan/sds
CURITIBANOS	CASAN	nao	Rio Marombas	Curitibanos SG ZC I	casan/sds
FRAIBURGO	CASAN	nao	rio mancinho		casan/sds
FREI ROGERIO	SAMAE	nao	subterranea		sds/auto
LAGES	SAMAE	nao	rio caveiras		sdr/sds
LEBON REGIS	CASAN	nao	Rio dos Patos	Lebon Régis SG 22 ZA IV	casan/sds
MONTE CARLO	SAMAE	nao			sds/auto
OTACILIO COSTA	CASAN	nao	rio desquite	Ponte Alta SG ZC II	sdr/casan/sds
PAINEL	CASAN	nao	corrego santo antonio	Lajes SG 22 ZC V	sdr/casan/sds
PALMEIRA	CASAN	nao	rio palmeira	Lajes SG 22 ZC V	sdr/casan/sds
PONTE ALTA	CASAN	nao	Rio Ponte Alta/subterranea	Ponte Alta SG 22 Z C II	casan/sds
PONTE ALTA DO NORTE	CASAN	nao	Poço Profundo	Ponte Alta SG 22 Z C II	casan/sds
RIO RUFINO	SAMAE	nao	nascentes do rio Rufino		sds/auto
SANTA CECILIA	CASAN	nao	rio da Taipa/subterranea	Santa Cecilia SG 22 ZA V	casan/sds
SAO CRISTOVAO DO SUL	CASAN	nao	Poço profundo	Ponte Alta SG 22 Z C II	casan/sds
SAO JOSE DO CERRITO	CASAN	nao	Poço Profundo	Campo Belo do Sul SG 22 Z C IV	casan/sds
URUBICI	CASAN	nao	rio Capoeiras/subterranea		casan/sds
VARGEM BONITA	CASAN	nao	Ribeirão Águas Tunal	Hercilópolis SG 22 YB V	casan/sds

A demanda de água para abastecimento público foi estimada pelo consumo de água por habitante, considerando a hipótese de todos os municípios da bacia utilizarem, ou virem a utilizar no futuro, um sistema de abastecimento de água de mananciais superficiais.

Foram utilizados os dados do CENSO IBGE, de 2000, para realizar uma estimativa do consumo relativo à população residente e o cálculo da sua respectiva demanda. Foram somadas as populações urbanas e rurais em cada município representando uma demanda única municipal.

Para elaboração de cenários e consumo de água no futuro pela população urbana dos municípios, foi realizada uma projeção demográfica para as populações levantadas pelo IBGE, em 2000, utilizando um método matemático. Foi utilizado o método aritmético, devido a sua facilidade de aplicação e significância dos resultados obtidos, conforme descrito por Tsutyia (2004) e apresentado na equação 12.

$$Pop = Pop_2 \left(\frac{Pop_2}{Pop_1} \right)^{\left(\frac{t-t_2}{t_2-t_1} \right)} \quad (12)$$

Onde: *Pop*: População projetada; *Pop2*: População ano mais recente; *Pop1*: População ano mais antigo; *t*: Ano projetado; *t2*: Ano mais recente; *t1*: ano mais antigo.

A projeção demográfica foi realizada utilizando os resultados do CENSO Demográfico do IBGE para os anos de 1970 e 2000. Nos municípios que apresentaram crescimento negativo foi mantida a maior população para o cálculo. Foi realizada então uma projeção para o ano 2020, conforme sugerido pelo PNRH.

O cálculo da demanda total de água foi realizado utilizando a equação 13 e considerou toda a população do município, independentemente da cobertura de atendimento do serviço de abastecimento de água de cada município, para assegurar a garantia de acesso à água desta população no futuro. Foi considerado um consumo *per capita* de 200 l/dia e a inclusão de um fator de perda de água na distribuição de 50 %.

$$Q(humana) = Pop(total) * q(hab) * k(perdas) \quad (13)$$

Onde: $Q(humana)$: vazão total; $Pop(total)$: população total estimada; $q(hab)$: vazão per capita; $k(perdas)$: perdas na rede de distribuição.

A Tabela 16 apresenta o resultado da estimativa das demandas de água para o abastecimento humano na Bacia Hidrográfica do Rio Canoas.

Tabela 16: Demanda de uso da água estimada para abastecimento humano.

MUNICIPIO	POPULACAO (hab)			CONSUMO (m3/s)		
	1970	2000	2020	1970	2000	2020
ABDON BATISTA	---	2775	2775	0,0000	0,0128	0,0128
ANITA GARIBALDI	18486	10273	10273	0,0856	0,0476	0,0476
BOCAINA DO SUL	---	2980	2980	0,0000	0,0138	0,0138
BOM RETIRO	7782	7967	8093	0,0360	0,0369	0,0375
BRUNOPOLIS	---	3331	3331	0,0000	0,0154	0,0154
CAPAO ALTO	---	3020	3020	0,0000	0,0140	0,0140
CAMPO BELO DO SUL	13810	8051	8051	0,0639	0,0373	0,0373
CAMPOS NOVOS	43135	28729	28729	0,1997	0,1330	0,1330
CELSO RAMOS	---	2844	2844	0,0000	0,0132	0,0132
CORREIA PINTO	---	17026	17026	0,0000	0,0788	0,0788
CURITIBANOS	30977	36061	39906	0,1434	0,1669	0,1847
FRAIBURGO	10148	32948	72243	0,0470	0,1525	0,3345
FREI ROGERIO	---	2971	2971	0,0000	0,0138	0,0138
LAGES	128728	157682	180518	0,5960	0,7300	0,8357
LEBON REGIS	9187	11682	13711	0,0425	0,0541	0,0635
MONTE CARLO	---	8579	8579	0,0000	0,0397	0,0397
OTACILIO COSTA	---	11399	11399	0,0000	0,0528	0,0528
PAINEL	---	2384	2384	0,0000	0,0110	0,0110
PALMEIRA	---	2133	2133	0,0000	0,0099	0,0099
PONTE ALTA	5945	4973	4973	0,0275	0,0230	0,0230
PONTE ALTA DO NORTE	---	2793	2793	0,0000	0,0129	0,0129
RIO RUFINO	---	2414	2414	0,0000	0,0112	0,0112
SANTA CECILIA	14717	12818	12818	0,0681	0,0593	0,0593
SAO CRISTOVAO DO SUL	---	4504	4504	0,0000	0,0209	0,0209
SAO JOSE DO CERRITO	15039	10276	10276	0,0696	0,0476	0,0476
URUBICI	12539	10252	10252	0,0581	0,0475	0,0475
VARGEM	---	3482	2775	0,0000	0,0161	0,0128
ABDON BATISTA	---	2775	2775	0,0000	0,0128	0,0128
TOTAL	310493	404347	471771,26	1,4374679	1,8719765	2,184126

Paiva *et al* (2000) e Rodriguez *et al* (2006) utilizaram uma metodologia de inventário de cabeças existentes na bacia hidrográfica, utilizando a informação de Censos agropecuários para a estimativa do consumo de água para a dessedentação de animais em suas respectivas áreas de estudo.

O Levantamento dos rebanhos criados na Bacia Hidrográfica do Rio Canoas foi realizado através dos dados publicados pela Secretaria de Desenvolvimento Regional do Estado de Santa Catarina (SDR). Os rebanhos estão inventariados de acordo com a área municipal à qual pertencem. A Tabela 17 apresenta o inventário do rebanho atual na bacia hidrográfica do Rio Canoas

Tabela 17: Levantamento quantitativo dos rebanhos criados na Bacia Hidrográfica do Rio Canoas.

NOMEMUNICÍPIO	BOVINOS	AVES	OVINOS	SUINOS	TOTAL
ABDON BATISTA	7300	11000	400	3320	22020
ANITA GARIBALDI	11586	19051	1066	3224	34927
BOCAINA DO SUL	11500	14500	1000	3100	30100
BOM RETIRO	22454	207265	1641	2591	233950
BRUNOPOLIS	8900	16800	1130	5120	31950
CAPAO ALTO	6543	2285	539	1078	10445
CAMPO BELO DO SUL	15396	16422	1426	2623	35866
CAMPOS NOVOS	35265	770178	5564	48273	859280
CELSO RAMOS	5323	10591	217	2488	18619
CERRO NEGRO	6644	14145	643	2186	23618
CORREIA PINTO	22500	19100	2400	3950	47950
CURITIBANOS	33633	23400	8300	3120	68453
FRAIBURGO	9040	536275	1712	11239	558267
FREI ROGERIO	4300	16800	1000	4420	26520
LAGES	42841	15632	3332	5712	67518
LEBON REGIS	0	0	0	0	0
MONTE CARLO	3116	12150	394	1406	17067
OTACILIO COSTA	14310	7198	434	1778	23720
PAINEL	15752	3843	1471	1779	22846
PALMEIRA	7000	9100	600	1710	18410
PONTE ALTA	11920	369633	549	969	383072
PONTE ALTA DO NORTE	3624	1900	884	751	7159
RIO RUFINO	5661	6421	507	4309	16897
SANTA CECILIA	15936	9562	1434	1036	27968
SAO CRISTOVAO DO SUL	6966	48761	2687	1672	60086
SAO JOSE DO CERRITO	30700	63400	2000	10250	106350
URUBICI	17956	16851	691	2417	37914
VARGEM	9800	19300	709	3504	33313
TOTAL	385964	2261563	42731	134025	2824283

Fonte: Estudo de Caracterização Regional, SDR (2006).

Para estimar a porcentagem do rebanho que efetivamente está dentro da Bacia Hidrográfica do Rio Canoas, mesmo estando registrado em um município que tem parte de sua área dentro da bacia, foi utilizado um critério de proporcionalidade de área. Para cada município, foi multiplicado o fator corretor de área, que representa quanto da área do total do município está dentro dos limites da bacia hidrográfica, pelo número total de cabeças inventariadas para cada município.

A estimativa das demandas de água *per capita* do consumo animal foi realizada utilizando critérios de referencia propostos pela SDS, apresentados na Tabela 18.

Tabela 18: Estimativa de consumo de água por cabeça de animal.

PORTE	ESPÉCIE	CONSUMO (l/cabeça.dia)	PORTE
GRANDE PORTE	BOVINOS E BUFALINOS	50	GRANDE PORTE
	EQUINOS	45	
	SUINOS	30	
PEQUENO PORTE	OVINOS	20	PEQUENO PORTE

Fonte: Santa Catarina (2006)

A Tabela 19 apresenta o resultado da estimativa do consumo de água para a dessedentação de animais na Bacia Hidrográfica do Rio Canoas.

Tabela 19: Estimativa de demandas de uso da água para a dessedentação de animais na Bacia Hidrográfica do Rio Canoas.

	MUNICIPIO	BOVINOS	AVES	OVINOS	SUINOS	TOTAL
(%)		(m3/seg)	(m3/seg)	(m3/seg)	(m3/seg)	(m3/seg)
1,00	ABDON BATISTA	0,00422	0,00255	0,00009	0,00115	0,008
0,48	ANITA GARIBALDI	0,00670	0,00441	0,00025	0,00112	0,012
1,00	BOCAINA DO SUL	0,00666	0,00336	0,00023	0,00108	0,011
0,86	BOM RETIRO	0,01299	0,04798	0,00038	0,00090	0,062
1,00	BRUNOPOLIS	0,00515	0,00389	0,00026	0,00178	0,011
0,18	CAPAO ALTO	0,00379	0,00053	0,00012	0,00037	0,005
0,57	CAMPO BELO DO SUL	0,00891	0,00380	0,00033	0,00091	0,014
0,78	CAMPOS NOVOS	0,02041	0,17828	0,00129	0,01676	0,217
0,54	CELSE RAMOS	0,00308	0,00245	0,00005	0,00086	0,006
0,43	CERRO NEGRO	0,00384	0,00327	0,00015	0,00076	0,008
1,00	CORREIA PINTO	0,01302	0,00442	0,00056	0,00137	0,019
1,00	CURITIBANOS	0,01946	0,00542	0,00192	0,00108	0,028
0,90	FRAIBURGO	0,00523	0,12414	0,00040	0,00390	0,134
1,00	FREI ROGERIO	0,00249	0,00389	0,00023	0,00153	0,008
0,48	LAGES	0,02479	0,00362	0,00077	0,00198	0,031
0,66	LEBON REGIS	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,000
0,99	MONTE CARLO	0,00180	0,00281	0,00009	0,00049	0,005
0,87	OTACILIO COSTA	0,00828	0,00167	0,00010	0,00062	0,011
0,47	PAINEL	0,00912	0,00089	0,00034	0,00062	0,011
1,00	PALMEIRA	0,00405	0,00211	0,00014	0,00059	0,007
1,00	PONTE ALTA	0,00690	0,08556	0,00013	0,00034	0,093
0,88	PONTE ALTA DO NORTE	0,00210	0,00044	0,00020	0,00026	0,003
0,84	RIO RUFINO	0,00328	0,00149	0,00012	0,00150	0,006
0,80	SANTA CECILIA	0,00922	0,00221	0,00033	0,00036	0,012
1,00	SÃO CRISTOVAO DO SUL	0,00403	0,01129	0,00062	0,00058	0,017
1,00	SÃO JOSE DO CERRITO	0,01777	0,01468	0,00046	0,00356	0,036
0,69	URUBICI	0,01039	0,00390	0,00016	0,00084	0,015
1,00	VARGEM	0,00567	0,00447	0,00016	0,00122	0,012
	TOTAL	0,22336	0,52351	0,00989	0,04654	0,803

A Figura 36 apresenta o resultado da estimativa de consumo de água por município para o abastecimento animal na Bacia Hidrográfica do Rio Canoas. Merecem destaque os consumos elevados dos municípios de Campos Novos, Lages e Fraiburgo.

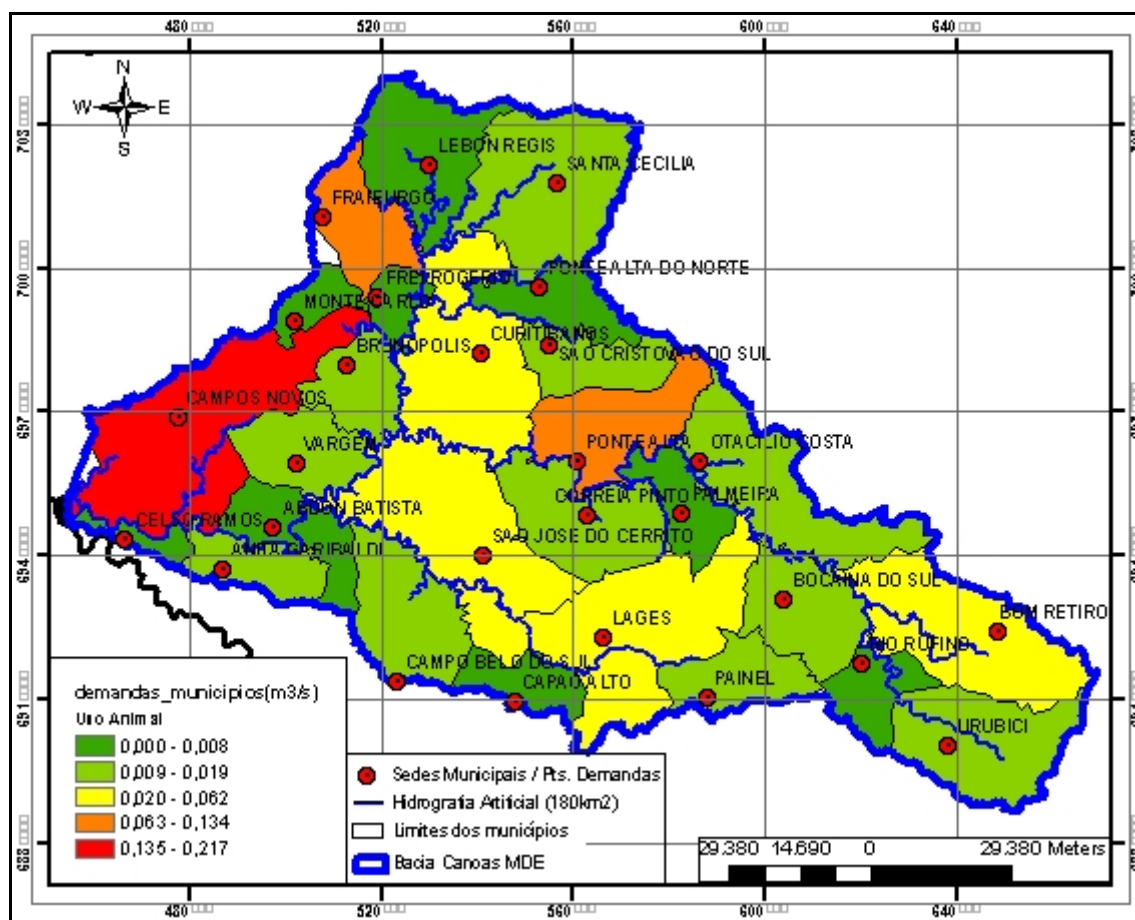


Figura 36: Demandas de água estimadas para o uso de abastecimento animal nos municípios da Bacia Hidrográfica do Rio Canoas para o ano de 1997.

3.6.3 Estimativa da demanda de água para consumo industrial

Apesar de não ser uma região intensamente industrializada, a Bacia Hidrográfica do Rio Canoas apresenta importantes pólos industriais, com destaque para a indústria de papel e celulose, madeira, bebidas e alimentos.

A estimativa do uso da água para o consumo industrial é a mais difícil de ser produzida por dados secundários, devido, principalmente, à escassez de dados e à falta de detalhamento das atividades. Muitas indústrias são abastecidas pelo sistema público de abastecimento de água, o que dificulta a sua quantificação. Também é frequente o fato que muitas indústrias possuem poços próprios dentro de suas instalações, sendo difícil de quantificar esse consumo na estimativa de demanda de água. Por outro lado, é possível por

meio da utilização de índices propostos em bibliografia técnica, estimar a demanda de água para o consumo industrial na bacia hidrográfica.

A metodologia adotada no estudo foi a utilização de dados dos órgãos oficiais de informação sobre a presença de indústrias por município e, com base nesses dados, foi realizada uma estimativa de consumo de água por tipo de indústria, segundo referências bibliográficas.

Foram utilizados os dados do Censo do Governo do Estado de Santa Catarina, apresentados por meio dos Relatórios de Caracterização Regional da SDR (2006), o inventário de indústrias por município e região de planejamento. Esse banco de dados permitiu verificar quantitativamente os principais tipos de atividades industriais existentes na bacia. Pode-se concluir que a grande maioria da atividade industrial expressiva na bacia é composta por indústrias relacionadas ao setor de madeiras, papel e celulose e bebidas e alimentos.

Segundo proposto por Tsutya (2000), baseado em Munoz (2000), pode-se estimar o consumo de água de uma indústria segundo o seu número de funcionários e o tipo de sua atividade industrial. Essa estimativa tem o objetivo de fornecer uma dimensão do uso da água pelo setor industrial e não substitui em hipótese alguma o cadastro de uso e medição precisa do consumo de água industrial na bacia hidrográfica.

A Tabela 20 apresenta os principais tipos de atividade industrial desenvolvidos na bacia, o consumo por funcionário previsto pela bibliografia consultada, assim como também, a sua relação de pertinência dentre as atividades industriais presentes na bacia. As indústrias de papel e celulose e de madeira apresentam incidência de 40% cada uma, e a indústria de bebidas e alimentos de 20 %. As demais demandas foram agrupadas de forma a simplificar o cálculo e consideradas com o consumo de água igual as anteriores.

Tabela 20: Estimativa da demanda de água para uso industrial por funcionário empregado.

ATIVIDADE	DEMANDA POR EMPREGADO		REPRESENT.	DEMANDA TOTAL
	(m ³ /dia)	(m ³ /seg)	(%)	(m ³ /seg)
Ind. Madeira e Serrar.	41	0,000475	40	0,000190
Ind. Bebidas e Alim.	7,9	0,000091	20	0,000018
Ind. Papel e Celu.	20	0,000231	40	0,000093
total				0,000301

A Figura 37 apresenta as demandas para consumo industrial espacializadas na bacia hidrográfica por município. A Tabela 21 apresenta o resultado do inventário realizado de quantificação de indústrias em cada município, assim como o número de funcionários

empregados. O resultado da aplicação do índice de consumo de água também está quantificado por município na Tabela.

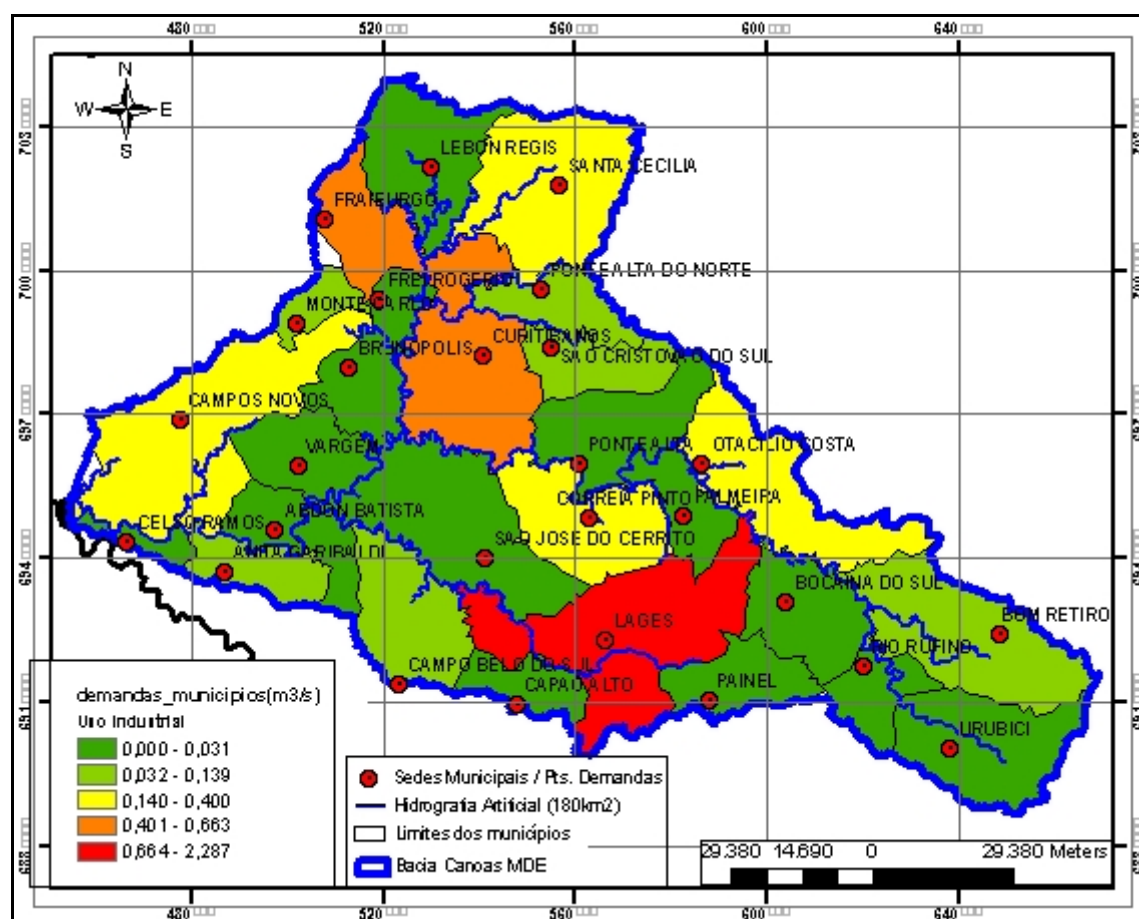


Figura 37: Demandas de água estimadas para o abastecimento industrial nos municípios da Bacia Hidrográfica do Rio Canoas para o ano de 2020.

Tabela 21: Estimativa da demanda de água para uso industrial.

MUNICIPIO	Num. de Empregados		Consumo (m³/s)		
	2000	2020	2000	2020	SDS
ABDON BATISTA	12	14	0,004	0,004	0,000
ANITA GARIBALDI	178	214	0,054	0,064	0,003
BOCAINA DO SUL	6	7	0,002	0,002	0,002
BOM RETIRO	169	203	0,051	0,061	0,006
BRUNOPOLIS	48	58	0,014	0,017	0,000
CAPAO ALTO	19	23	0,006	0,007	0,002
CAMPO BELO DO SUL	203	244	0,061	0,073	0,007
CAMPOS NOVOS	1330	1596	0,400	0,480	0,051
CELSO RAMOS	41	49	0,012	0,015	0,000
CORREIA PINTO	1025	1230	0,308	0,370	0,033
CURITIBANOS	2204	2645	0,663	0,795	0,084
FRAIBURGO	1787	2144	0,537	0,645	0,048
FREI ROGERIO	66	79	0,020	0,024	0,000
LAGES	7605	9126	2,287	2,744	0,269

MUNICIPIO	Num. de Empregados		Consumo (m³/s)		
	2000	2020	2000	2020	SDS
LEBON REGIS	94	113	0,028	0,034	0,005
MONTE CARLO	463	556	0,139	0,167	0,020
OTACILIO COSTA	974	1169	0,293	0,351	0,028
PAINEL	1	1	0,000	0,000	0,000
PALMEIRA	68	82	0,020	0,025	0,004
PONTE ALTA	104	125	0,031	0,038	0,007
PONTE ALTA DO NORTE	214	257	0,064	0,077	0,009
RIO RUFINO	15	18	0,005	0,005	0,001
SANTA CECILIA	1273	1528	0,383	0,459	0,043
SAO CRISTOVAO DO SUL	436	523	0,131	0,157	0,018
SAO JOSE DO CERRITO	22	26	0,007	0,008	0,001
URUBICI	62	74	0,019	0,022	0,001
VARGEM	96	115	0,029	0,035	0,003

3.6.4 Estimativa de demanda de água para consumo na agricultura

Segundo Carvalho (2003), a finalidade básica da irrigação é proporcionar água às culturas de maneira a atender as exigências hídricas durante todo o seu ciclo, possibilitando, assim, alta produtividade. A quantidade de água necessária às culturas é função da espécie cultivada, do local do cultivo, do estágio de desenvolvimento da cultura, do tipo de solo e da época de plantio. As relações existentes entre cultura, clima, água e solo são complexas envolvendo muitos processos biológicos, fisiológicos, físicos e químicos. Uma grande quantidade de informações de pesquisa sobre esses processos em relação à água se encontra disponível, contudo, para sua aplicação prática. Esse conhecimento deve ser reduzido a um número manejável de componentes principais para permitir uma análise significativa do efeito da água sobre a cultura.

A irrigação real necessária é a quantidade real de água a ser aplicada à cultura por irrigação em se considerando duas possibilidades: quando toda a água necessária à cultura é suprida pela irrigação, ou quando parte da água necessária à cultura for suprida pela irrigação e a outra parte pela precipitação efetiva*.

Chaparro (2006) afirma que fatores que influenciam diretamente na demanda agrária são: variáveis meteorológicas, as superfícies plantadas, a intensidade produtiva, as características do solo, as características da água, os métodos de irrigação e sua eficiência. O

* Em agricultura, a precipitação efetiva é definida como a parte da precipitação que fica armazenada no solo até a profundidade das raízes e que fica disponível para os cultivos (ANA, 2007).

uso de técnicas de sensoriamento remoto vem permitindo a identificação precisa das superfícies plantadas e irrigadas em bacias hidrográficas, através das análises das imagens de satélite que cobrem a região da bacia.

No entanto, o método mais tradicional para a estimativa da demanda agrícola é o método do balanço hídrico, proposto pela FAO (1976). Esse método utiliza dados meteorológicos, principalmente, de precipitação média mensal e de evapotranspiração, correlacionados a dados específicos do solo, como sua umidade inicial e dados dos cultivos, que são representados pelo coeficiente de cultivo. Esse método permite uma estimativa adequada das necessidades hídricas de cada cultivo, segundo as condições climáticas locais e suas necessidades específicas.

Já a portaria da SDS n. 35 de 2006 define índices de consumo de água segundo o tipo de irrigação utilizado. A Tabela 22, publicada nesta Portaria baliza os valores de demanda de água para atividades de irrigação no Estado de Santa Catarina.

Tabela 22: Estimativas de demanda de água para agricultura segundo método de irrigação.

Método de Irrigação	Eficiência (%)	Vazão específica (litros/s/ha) Faixa
Sulco	40 a 65	0,8 – 2,0
Sulco	40 a 65	0,8 – 2,0
Inundação	40 a 65	0,25 – 1,5
Aspersão	70 a 85	0,6 – 1,0
Localizada	90 a 95	0,3 – 0,7
Outros	40 a 85	0,30 – 2,5

Fonte: Santa Catarina (2006)

A agricultura geralmente representa um grande usuário de água, no sentido que a irrigação consome uma enorme quantidade de água em comparação com outros usos da água na bacia. Nesse sentido, buscou-se investir em um levantamento de dados quantitativos que permitissem uma estimativa razoável do potencial consumo de água pela agricultura.

Foram levantados os dados publicados nos Relatórios de Caracterização Regional da SDR e nos relatórios do Instituto CEPA. Os dados estão disponíveis com informações acerca das áreas plantadas por cultura em cada município. Para avaliação da demanda hídrica, foram consultados todos os municípios com área territorial dentro da Bacia Hidrográfica do Rio Canoas.

Através de uma relação de pertinência da área total do município e sua área dentro da bacia hidrográfica, foram selecionados os municípios com área territorial de no mínimo 10 % de sua totalidade dentro da Bacia Hidrográfica do Rio Canoas. Foram identificados preliminarmente 45 municípios dentro da Bacia Hidrográfica do Rio Canoas. Após a

aplicação do critério de pertinência, foram identificados 28 municípios para análise de demanda hídrica agrícola.

A Tabela 23 apresenta o resultado do inventário de área plantada por município, separado por tipos de culturas plantadas.

Tabela 23: Relação quantitativa de área plantada (ha) por tipo de cultura e por município dentro da área da Bacia Hidrográfica do Rio Canoas.

(%)	NOME MUNICIPIO	alho	arroz	batata	cebola	feijao	fumo	maca	milho	soja	trigo	tomate	mandioca	uva
1,00	ABDON BATISTA	0,00	0,00	0,00	0,00	1200,00	308,00	0,00	2400,00	150,00	10,00	0,00	0,00	0,00
0,48	ANITA GARIBALDI	2,91	0,00	12,12	2,91	1308,84	28,60	0,00	3102,44	9,70	4,85	0,00	0,00	0,00
1,00	BOCAINA DO SUL	0,00	8,00	60,00	4,00	460,00	60,00	37,00	1290,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,86	BOM RETIRO	0,00	0,00	189,99	949,96	302,26	67,36	1088,14	2590,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,00	BRUNOPOLIS	200,00	0,00	0,00	0,00	2000,00	0,00	0,00	3100,00	2400,00	160,00	0,00	0,00	0,00
0,18	CAPAO ALTO	0,00	2,74	18,28	0,91	100,52	0,00	3,29	237,60	27,41	0,00	0,00	0,00	0,00
0,57	CAMPO BELO DO SUL	0,00	136,85	11,40	22,81	1710,63	5,13	61,01	2394,89	1140,42	342,13	0,00	0,00	0,00
0,78	CAMPOS NOVOS	39,18	0,00	0,00	0,00	6661,09	69,75	0,00	19591,43	18415,95	10187,54	0,00	0,00	0,00
0,54	CELSO RAMOS	0,00	0,00	0,00	0,00	923,32	39,11	0,00	2009,58	92,33	5,43	0,00	0,00	0,00
0,43	CERRO NEGRO	2,14	25,72	4,29	4,29	1071,60	19,72	0,00	1285,92	42,86	107,16	0,00	0,00	0,00
1,00	CORREIA PINTO	50,00	55,00	120,00	50,00	1200,00	0,00	251,00	3000,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,00	CURITIBANOS	1500,00	70,00	90,00	300,00	5000,00	0,00	0,00	6000,00	3500,00	0,00	3,00	0,00	0,00
0,90	FRAIBURGO	180,26	45,07	9,01	45,07	2253,26	11,72	5353,73	2703,91	0,00	0,00	0,00	0,00	45,07
1,00	FREI ROGERIO	400,00	40,00	20,00	45,00	2000,00	0,00	16,00	2500,00	336,00	100,00	30,00	0,00	0,00
0,48	LAGES	14,28	18,09	47,60	2,38	714,02	0,00	145,18	2142,06	333,21	30,94	0,00	0,00	0,00
0,66	LEBON REGIS	85,28	0,00	6,56	27,55	1639,98	22,30	741,27	2427,17	0,00	0,00	29,52	0,00	3,28
0,99	MONTE CARLO	108,48	0,00	0,00	0,00	325,45	3,94	1282,06	739,65	276,14	73,97	0,00	0,00	0,00
0,87	OTACILIO COSTA	0,00	0,00	6,94	21,68	147,43	6,94	0,00	2081,43	173,45	0,00	0,00	0,00	0,00
0,47	PAINEL	0,00	0,00	85,41	0,00	142,34	0,00	80,66	332,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,00	PALMEIRA	0,00	0,00	0,00	28,00	150,00	0,00	0,00	750,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,00	PONTE ALTA	59,94	19,98	29,97	9,99	499,50	0,00	0,00	1498,51	229,77	0,00	5,00	0,00	0,00
0,88	PONTE ALTA DO NORTE	13,26	2,65	1,77	13,26	88,38	0,00	0,00	220,95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,84	RIO RUFINO	0,00	0,00	42,24	8,45	185,87	320,20	130,95	591,40	0,00	0,00	1,69	0,00	0,00
0,80	SANTA CECILIA	11,95	6,37	35,86	15,94	199,20	0,00	291,63	1992,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,00	SAO CRISTOVAO DO SUL	24,88	14,93	14,93	4,98	298,54	0,00	0,00	696,59	208,98	0,00	0,00	0,00	0,00
1,00	SAO JOSE DO CERRITO	19,00	0,00	0,00	40,00	5700,00	41,00	73,00	8000,00	50,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,69	URUBICI	0,00	0,00	172,65	24,17	103,59	184,39	345,30	552,48	0,00	0,00	82,87	0,00	0,00
1,00	VARGEM	0,00	0,00	0,00	0,00	1000,00	146,00	0,00	3400,00	300,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	TOTAL	2711,56	445,397	979,009	1621,34	37385,8	1334,16	9900,24	77631	27686,2	11022	152,076	0	48,345

Para a estimativa de demanda de uso da água pela agricultura neste estudo, foi utilizado um índice proposto por Cristhopidis (1997) *apud* Rebouças (1999b), que apresenta valores regionais de demandas específicas médias para agricultura por estado e região do Brasil. O índice de demanda de água para o Estado de Santa Catarina é de 0,22 litros por segundo por hectare (l/s.ha). Esse índice foi aplicado nas áreas plantadas calculadas por município dentro da Bacia Hidrográfica do Rio Canoas, para determinar as demandas de água para o uso agrícola por município. A Tabela 24 apresenta o resultado da estimativa da demanda agrícola para a Bacia Hidrográfica do Rio Canoas.

A aplicação do índice proposto por Cristhopidis (1997) *apud* Rebouças (1999b) a toda a área plantada da bacia representa uma demanda de água acima da realmente instalada na bacia, pois nem todas as culturas e propriedades contam com sistemas de irrigação. Dessa forma, a demanda agrícola visa balizar quantidades de água que potencialmente poderiam estar sendo utilizadas nos processos agrícolas da bacia hidrográfica.

Tabela 24: Estimativa da demanda de água para o uso agrícola por município na Bacia Hidrográfica do Rio Canoas.

NOME MUNICIPIO	total (ha)	Vazão(m3/s)
ABDON BATISTA	4068,00	0,89
ANITA GARIBALDI	4472,36	0,98
BOCAINA DO SUL	1919,00	0,42
BOM RETIRO	5188,53	1,14
BRUNOPOLIS	7860,00	1,73
CAPAO ALTO	390,75	0,09
CAMPO BELO DO SUL	5825,27	1,28
CAMPOS NOVOS	54964,94	12,09
CELSO RAMOS	3069,77	0,68
CERRO NEGRO	2563,70	0,56
CORREIA PINTO	4726,00	1,04
CURITIBANOS	16463,00	3,62
FRAIBURGO	10647,08	2,34
FREI ROGERIO	5487,00	1,21
LAGES	3447,77	0,76
LEBON REGIS	4982,91	1,10
MONTE CARLO	2809,69	0,62
OTACILIO COSTA	2437,87	0,54
PAINEL	640,54	0,14
PALMEIRA	928,00	0,20
PONTE ALTA	2352,66	0,52
PONTE ALTA DO NORTE	340,26	0,07
RIO RUFINO	1280,81	0,28
SANTA CECILIA	2552,96	0,56
SAO CRISTOVAO DO SUL	1263,81	0,28
SAO JOSE DO CERRITO	13923,00	3,06
URUBICI	1465,45	0,32
VARGEM	4846,00	1,07
Total	170917,15	37,60

No relatório técnico da SDS, 2006, estão identificadas demandas agrícolas para poucos municípios da Bacia Hidrográfica do Rio Canoas, considerando a classificação do referido relatório, com um grupo de arroz irrigado, ou outras culturas. Dessa forma, o

somatório de demandas para uso agrícola considerado no relatório da SDS para a Bacia Hidrográfica do Rio Canoas é consideravelmente inferior ao estimado na pesquisa.

A Figura 38 apresenta o resultado da estimativa do uso da água estimado para o potencial agrícola da região distribuído por município na bacia hidrográfica considerando as áreas plantadas registradas.

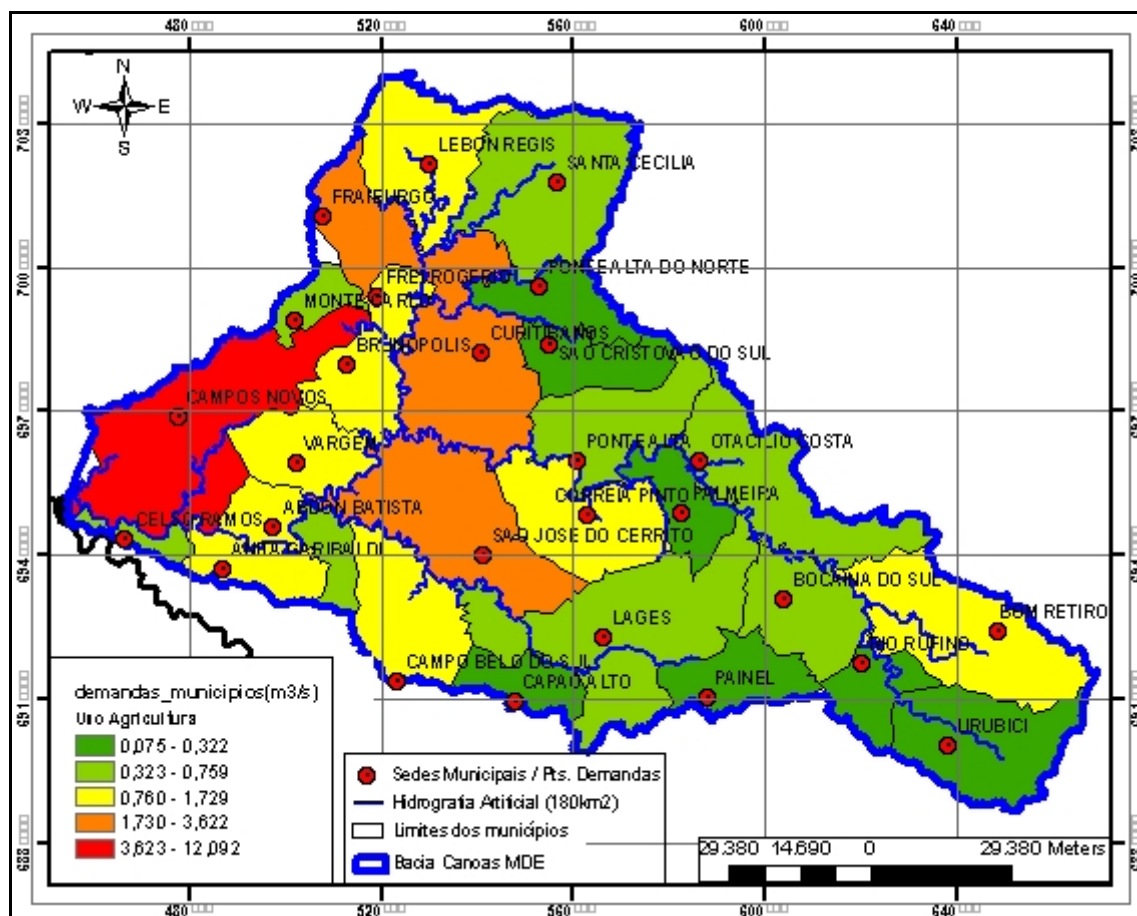


Figura 38 – Demandas estimadas para a agricultura nos municípios da Bacia Hidrográfica do Rio Canoas.

3.6.5 Estimativa do uso da água para manutenção da vazão ecológica

Segundo Mas (2005), a vazão ecológica pode ser definida pela vazão necessária que se mantenha no leito de um rio para que assegure a manutenção do patrimônio hidrobiológico e sociocultural do seu meio hídrico, de forma compatível com os demais usos da água na bacia hidrográfica. A determinação de uma vazão ecológica é uma tarefa complexa e que deve levar

em conta critérios e indicadores que garantam os aspectos ambientais relevantes para o corpo hídrico.

Mas (2005) também apresenta uma metodologia para a determinação de vazões ecológicas para bacias hidrográficas, na qual destaca a importância de um amplo e completo estudo das variáveis físicas, químicas, biológicas e sociais dos trechos em questão. Esses métodos podem ser classificados em: métodos hidrológicos; métodos hidráulicos, métodos de simulação de *habitat*; métodos holísticos; e métodos que atendem aspectos específicos do ambiente fluvial.

Para considerar a vazão ecológica na simulação de disponibilidade hídrica da Bacia Hidrográfica do Rio Canoas, foi utilizado o método hidrológico, pois este permite incluir uma referência à vazão ecológica no estudo de forma mais simples, uma vez que os índices hidrológicos já foram calculados para toda a área da bacia hidrográfica.

Conforme ENGECORPS *et al* (2006) um dos métodos mais utilizados no Brasil é a adoção da $Q(7,10)$ devido a sua facilidade de aplicação. A estimativa da vazão ecológica por seção de referencia neste estudo utilizou, também, o critério da vazão mínima de sete dias de duração e período de retorno de 10 anos $Q(7,10)$, calculada para os pontos de controle das sub-bacias de análises.

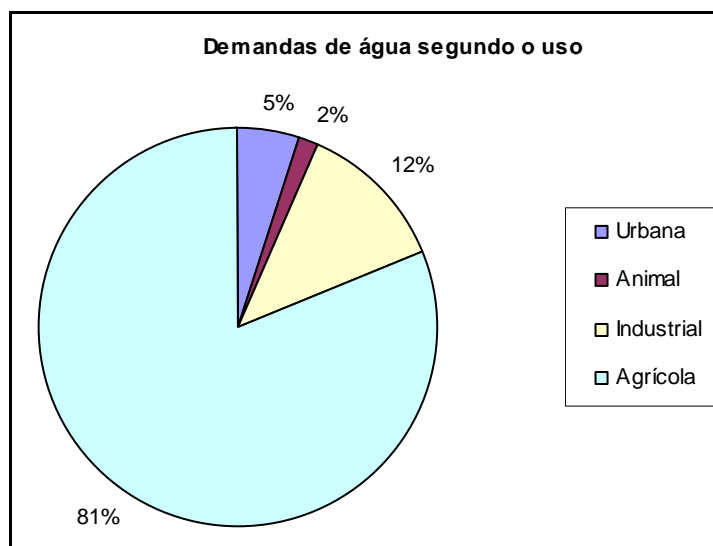
3.6.6 Síntese das demandas de uso da água na bacia

As demandas estimadas representam um cenário de demandas potenciais de água na bacia hidrográfica, o que não reflete o uso atual de água na bacia hidrográfica. A falta de cobertura do sistema de abastecimento de água nos municípios não foi considerada. As demandas agrícolas representam um índice médio de consumo de água considerando a hipótese de haver irrigação em toda a área plantada da bacia hidrográfica.

Este cenário permite um olhar estratégico do uso da água na bacia, de forma a visualizar situações ideais de gestão da água. O maior usuário potencial de água na Bacia Hidrográfica do Rio Canoas, é sem dúvida, o agrícola. A Tabela 25 apresenta os resultados das demandas totais estimadas por uso da água na bacia hidrográfica. A Figura 39 apresenta um gráfico que representa o percentual de cada setor usuário no uso total da água na bacia hidrográfica, segundo levantamento das necessidades e demandas realizadas por este estudo.

Tabela 25 – Estimativa das demandas de água por tipo de uso na Bacia Hidrográfica do Rio Canoas.

Demanda	Vazão (m3/s)
urbana	2,35
animal	0,781
industrial	5,567
agropecuária	37,6
total	46,298

**Figura 39:** Participação por setor usuário nas demandas de águas totais estimadas para a Bacia Hidrográfica do Rio Canoas.

Na Figura 40 está apresentada a demanda de água total, que representa a soma das demandas agrícolas, humanas, animais e industriais por município, estimadas para a Bacia Hidrográfica do Rio Canoas.

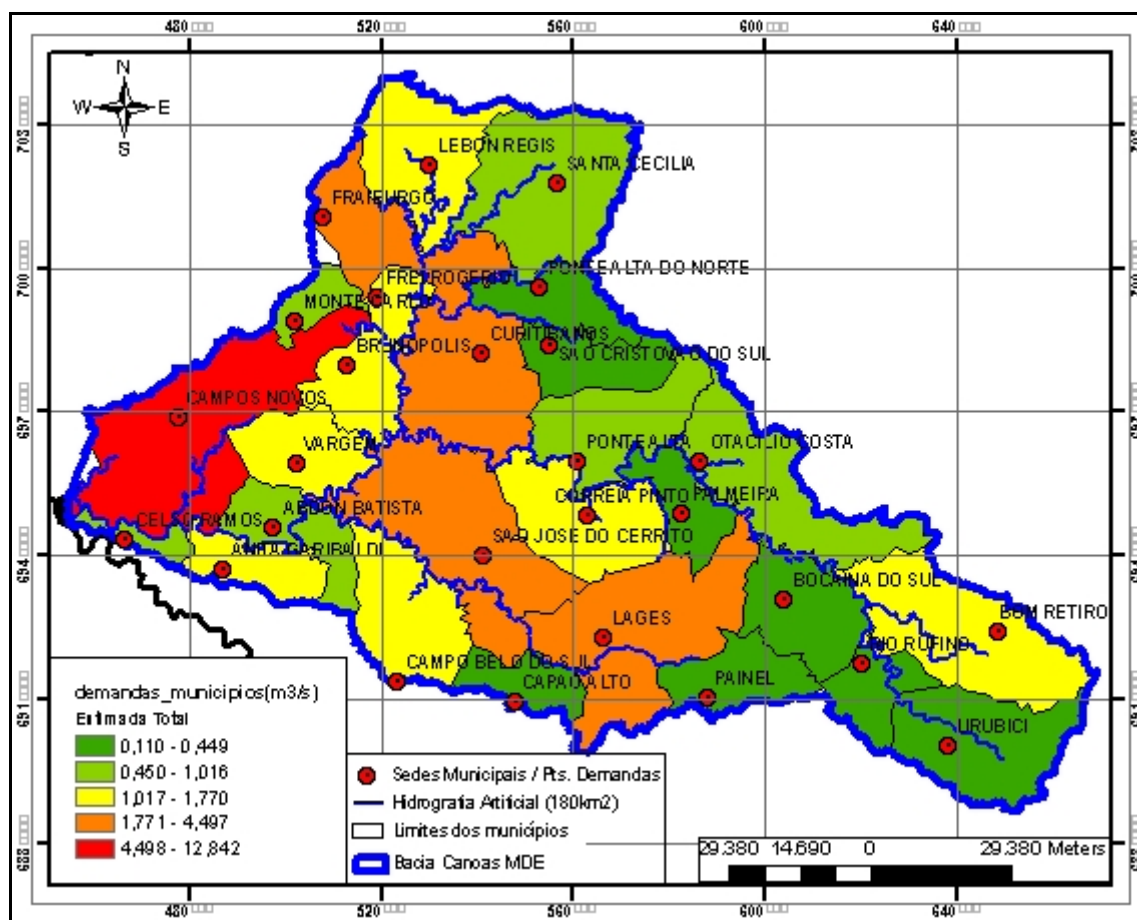


Figura 40: Consumo total de água estimado para a Bacia Hidrográfica do Rio Canoas.

3.7 Aplicação do Modelo de Suporte a Decisão

3.7.1 Apresentação do Modelo

O Modelo de Suporte a Decisão escolhido foi o ACQUANET, desenvolvido pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP), no Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões (LABSID). Esse modelo é de uso público, o que implica que qualquer pessoa pode acessar a página *web*, disponível em www.phd.poli.usp.br/labsid/ do laboratório, e fazer o *download* do programa, instalar em seu computador e utilizá-lo para suas aplicações locais.

O modelo Acquanet é um modelo de rede de fluxo, que mistura características dos modelos de simulação e otimização e pode incorporar as características das vazões de entrada

(CARVALHO, 2003). Quando um modelo de rede de fluxo é aplicado na análise de sistemas de recursos hídricos, o algoritmo do modelo busca minimizar o custo total da rede, que representa o problema em estudo (ROBERTO e PORTO, 2006)

Os componentes básicos do modelo estão representados por uma rede formada por “arcos” (tramos) e os “nós”. Os nós representam confluências, bifurcações, locais de captação, contribuição natural de água, estações fluviométricas, reservatórios, e outros pontos importantes do sistema (PORTO e AZEVEDO, 2002). Os nós de demanda também têm a função de representar as demandas de recursos hídricos, diferenciadas segundo seu tipo.

Os arcos são o elo entre os nós e armazenam as informações relativas aos trechos da rede hidrográfica, representados na modelagem da bacia. Esses arcos podem representar trechos naturais da rede hidrográfica, canais de irrigação ou de adução e retorno de água (PORTO e AZEVEDO, 2002). Os arcos também podem armazenar informações sobre a vazão máxima e mínima no rio, ferramenta que pode ser utilizada para garantir uma vazão ecológica.

Em um modelo de rede de fluxo, todos os elementos do sistema (arcos e nós) devem conter as características da estrutura que representam. Algumas características segundo o tipo de elemento são:

- Reservatórios: volumes máximos e mínimos, curva cota área volume, níveis de armazenamento, etc...
- Demandas: valor e distribuição temporal da demanda, prioridade de atendimento, retornos.
- Arcos: capacidades máximas e mínimas, custo, perda por infiltração.

A Figura 41 apresenta os elementos e a legenda utilizada pelo AcquaNet para cada elemento do sistema de rede de fluxo.

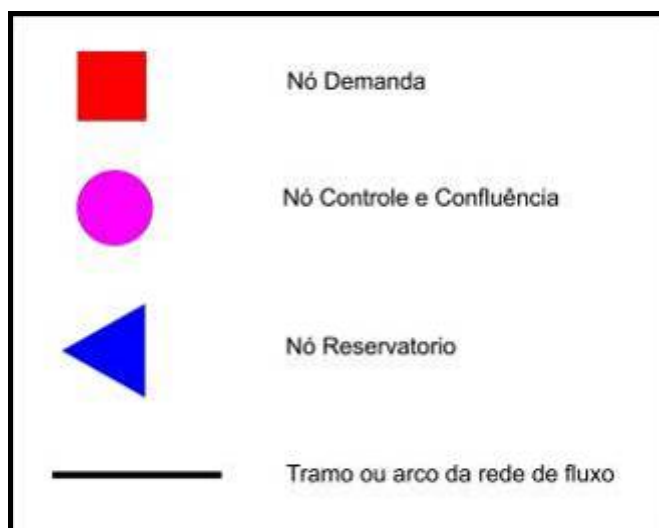


Figura 41: Legenda dos símbolos utilizados pelo AcquaNet para montagem da rede de fluxo

Segundo Azevedo *et al* (2002), para otimizar a operação de sistemas, o modelo utiliza um algoritmo de rede de fluxo chamado *out-of-kilter*. Trata-se essencialmente de um algoritmo de programação linear *primal-dual* que foi desenvolvido especificamente para a solução eficiente de problemas de minimização de custo em redes de fluxo. Os custos do sistema não são necessariamente custos econômicos, podendo representar categorias hierárquicas ou fatores de ponderação que sirvam para considerar fatores de prioridade de atendimento.

3.7.2 Estruturação da rede de fluxo

A rede de fluxo para a análise da Bacia Hidrográfica do Rio Canoas foi estruturada e delimitada através da compilação de todos os dados de entrada já preparados para o estudo e organizados no SIG. A organização estrutural do modelo de rede de fluxo segue o modelo conceitual proposto para a pesquisa na Figura 2.

A estrutura geográfica da rede de fluxo segue a caracterização hidrográfica já realizada. Foi utilizado o arquivo gerado de rede de drenagem para a demarcação da rede de fluxo que representa o sistema hidrográfico da bacia. Dessa forma, os arcos principais representam a rede hidrográfica da Bacia Hidrográfica do Rio Canoas, considerando o critério de área de drenagem superior a 180 km².

As entradas de água no sistema são representadas pelos nós de Entrada de Vazão, que estão espacializados segundo a sua Sub-bacia Hidrográfica. As saídas de água do sistema são representadas pelas demandas de água para uso humano, industrial, agrícola e animal. A localização geográfica das demandas de água por tipo e município foi incluída no modelo de rede de fluxo através da utilização dos pontos gerados no SIG, conforme as informações já processadas, como a localização das sedes municipais e outras demandas.

Para cada Sub-bacia hidrográfica analisada, foi incluído um nó de controle em sua exutória, assim como um ponto de demanda representativo da vazão ecológica nesses pontos de controle. Foi incluído também na rede de fluxo um reservatório fictício na exutória da Bacia Hidrográfica do rio Canoas, de forma a permitir uma quantificação do aporte excedente das demandas da bacia.

Os elementos do sistema hídrico que foram representados como arcos no sistema de rede de fluxo foram:

- Rede hidrográfica
- Canais para adução e retorno de água.

Os elementos do sistema hídrico que foram representados como nós no sistema de rede de fluxo foram:

- Demanda industrial
- Demanda agricultura
- Demanda humana
- Demanda animal
- Vazão ecológica
- Ponto de controle por sub-bacia hidrográfica
- Entrada de vazão por sub-bacia hidrográfica
- Reservatório de saída
- Confluências.

O sistema básico elaborado para área contou com uma rede de 157 nós, 120 pontos de demandas e 156 arcos. A Tabela 26 apresenta uma síntese dos elementos utilizados na montagem e estruturação da rede de fluxo para a bacia hidrográfica do Rio Canoas.

Tabela 26: Quadro síntese dos elementos utilizados para a rede de fluxo.

Características	Valores
Total de Nós	157
Reservatórios	1
Demandas	120
Passagens	36
Links	156
Tipo de Simulação	Simulação Contínua
Opção de Cálculo	Calibração
Estados Hidrológicos	0
Mês inicial	Janeiro
Ano inicial	2000
Horizonte (anos)	1
Série histórica (anos)	1

A figura 42 apresenta a rede básica montada sobre uma imagem de fundo da bacia hidrográfica, ilustrando as sub-bacias de controle utilizadas. A Figura 43 apresenta a rede de fluxo completa elaborada para a Bacia do Rio Canoas no modelo AcquaNet. A Figura 44 apresenta um trecho da mesma rede, na região do município de Urubici e as nascentes do Rio Canoas.

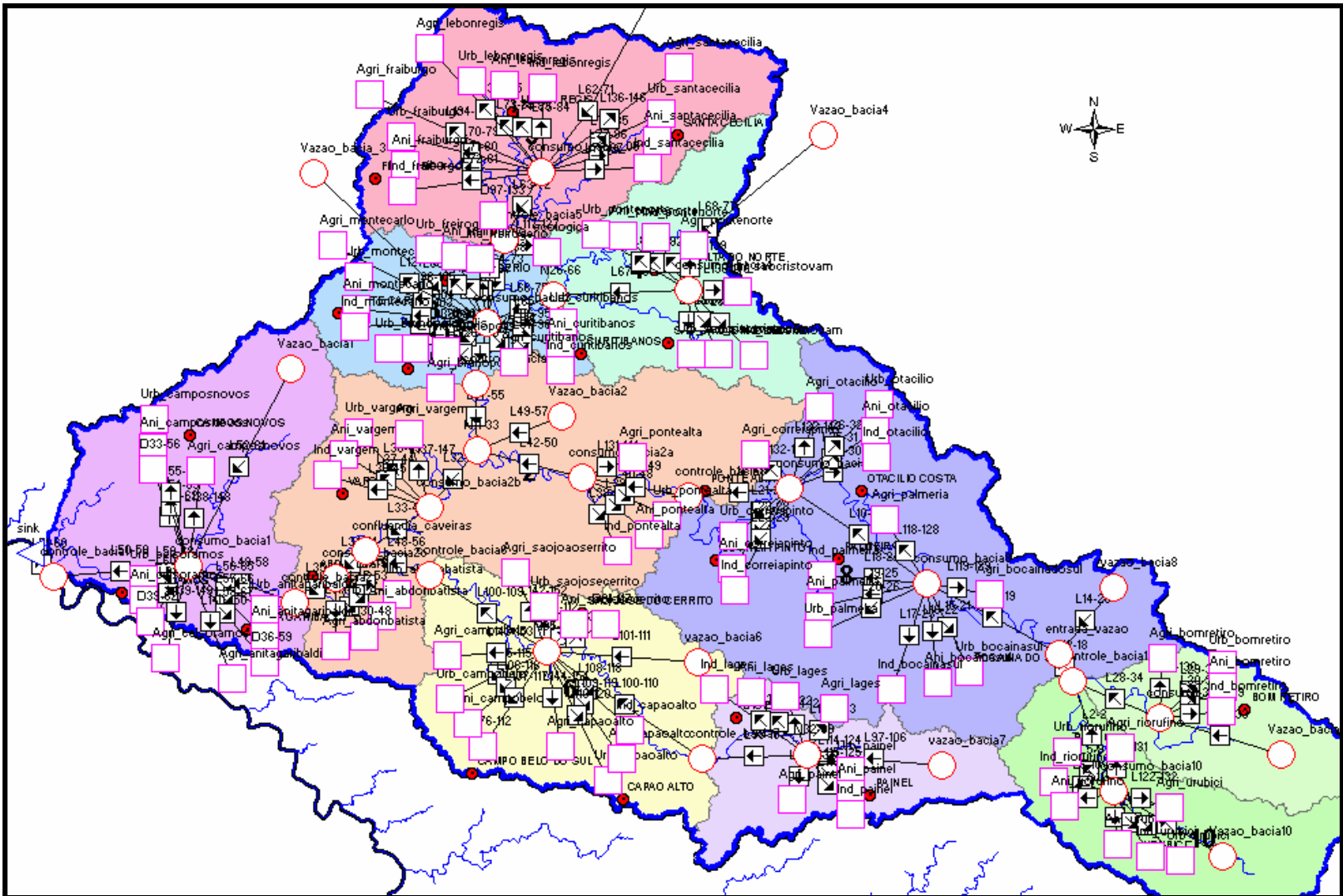


Figura 42: Rede de fluxo elaborada para a Bacia Hidrográfica do Rio Canoas

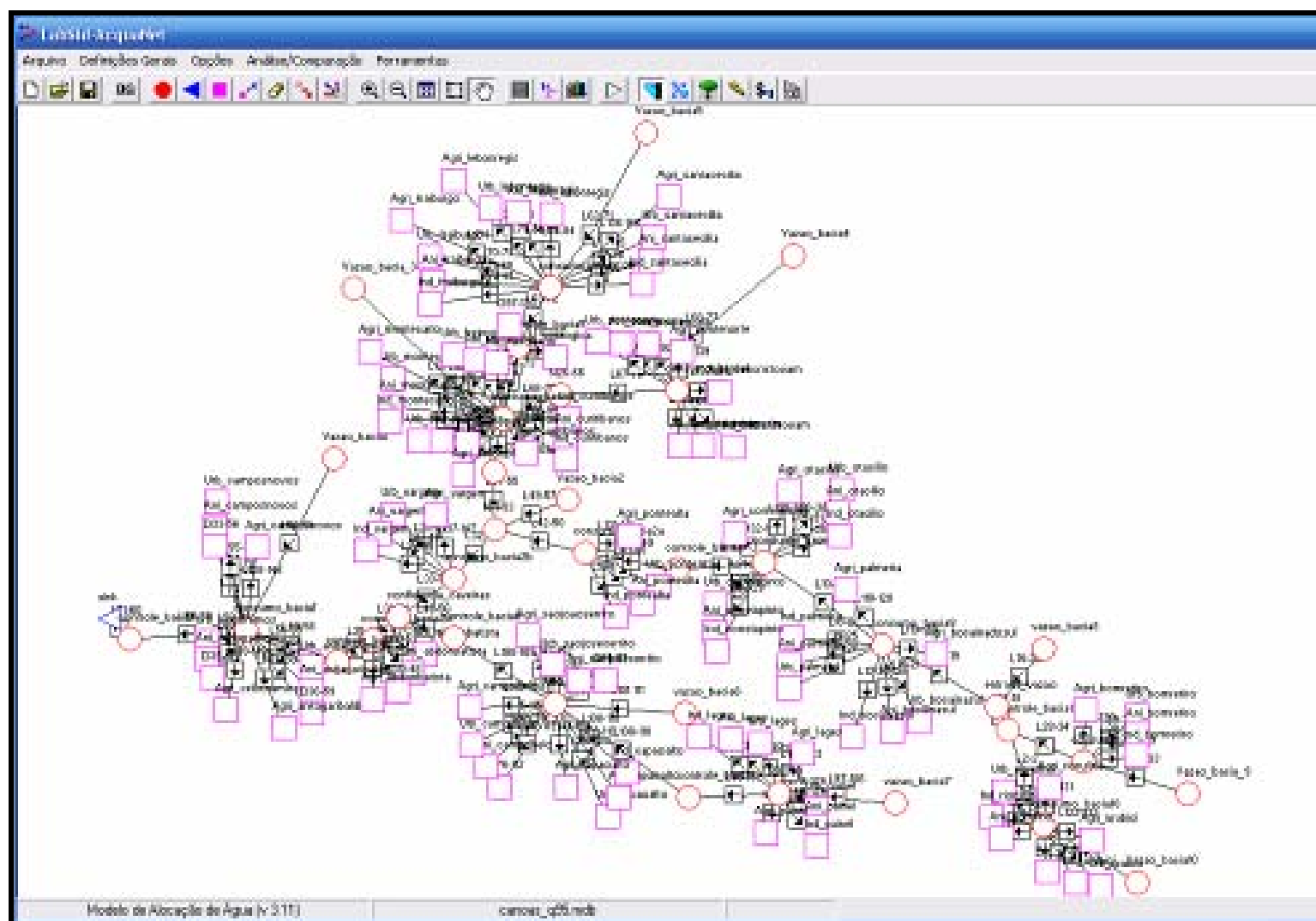


Figura 43: Rede de fluxo no modelo AcuaNet para a Bacia Hidrográfica do Rio Canoas.

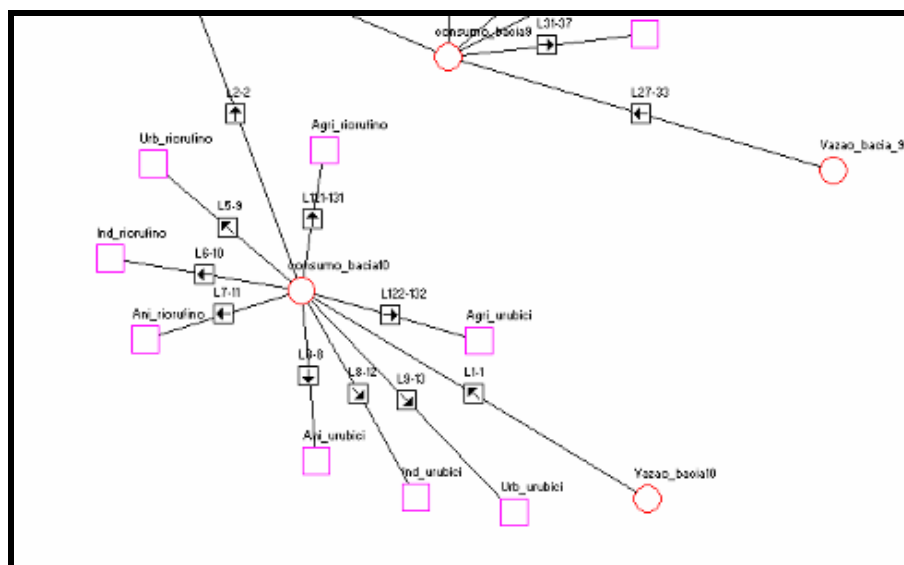


Figura 44: Detalhe da rede de fluxo no município de Urubici e nascentes do Rio Canoas.

3.7.3 Parâmetros do Modelo

O período de simulação utilizado foi de um ano, completando um ciclo anual hidrológico médio. As demandas de uso da água foram consideradas constantes ao longo do ano. Foi utilizada a opção de simulação contínua.

Os modelos de redes de fluxo não possuem uma rotina para otimização de variáveis que busque valores ótimos segundo critérios pré-definidos. Segundo Porto *et al*, (2002) o usuário que deseja encontrar valores satisfatórios, considerando dados variáveis de decisão, utilizando um modelo de simulação de rede de fluxo, é obrigado a recorrer aos chamados métodos de força bruta, baseados em repetições do modelo com diferentes valores de entrada.

Todas as demandas de água na bacia hidrográfica teriam taxa de retorno de água igual a zero, ou seja, todos os usos de água não devolvem água ao rio. Essa hipótese não representa a realidade, mas permite uma aproximação mais pessimista do cenário real no que diz respeito ao retorno da água ao corpo hídrico.

As prioridades de demandas utilizadas estão apresentadas na Tabela 24. As demandas de abastecimento humano e animal têm prioridade de uso garantida por Lei. Os outros usos têm prioridades inferiores, a serem hierarquizadas conforme regulamentação de cada comitê de bacia hidrográfica. As prioridades consideradas neste estudo foram determinadas como critérios preliminares da pesquisa, sendo que o instrumento permite a avaliação de diversos

cenários combinando critérios de prioridades diversos. O modelo ajusta o abastecimento de água para todas as demandas da rede segundo os critérios de prioridades da Tabela 27.

Tabela 27 – Critérios de prioridades utilizados no modelo.

Prioridades de atendimento da demanda	
Demandas	Prioridades (max =1;min=4)
Urbana	1
Animal	2
Industrial	3
Agrícola	4

Não foram incluídos custos nos transportes dos arcos, assim como também foi considerado um limite superior de transporte muito alto e inferior muito baixo em cada arco, de forma que o transporte nos arcos não interferisse nas análises realizadas.

A utilização de critérios de prioridade nas simulações permite garantir o abastecimento a determinados usos em detrimento de outros em condições de escassez de água. Esta ferramenta permite ao modelo de rede de fluxo ajustar as condições de simulações segundo critérios de prioridades legais, como é o caso do consumo humano e também, planejar a adoção de outros critérios de prioridades pelo comitê de gerenciamento, através da criação de cenários de usos da água.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram consideradas três abordagens para a elaboração dos cenários de simulação de uso da água para a Bacia Hidrográfica do Rio Canoas. O conceito básico para a elaboração de cenários para o uso e outorga da água é a investigação do balanço hídrico na bacia, segundo critérios pré-estabelecidos para cada cenário.

O primeiro conjunto de cenários elaborado foi à avaliação da disponibilidade hídrica da bacia hidrográfica para atender a todas as demandas estimadas, considerando o aporte natural de água segundo índices hidrológicos. O segundo conjunto de cenários avaliou a garantia de abastecimento conforme a disponibilidade de água condicionada por critérios de outorga de uso de água pré-definidos. A última análise simula usos potenciais da água nas nascentes, considerando o uso total da disponibilidade de água outorgável, para avaliar o impacto na garantia de abastecimento dos municípios de jusante.

Os resultados estão apresentados em Tabelas considerando suas Sub-bacias e também em escala municipal. As Figuras representam um instrumento pedagógico utilizando o SIG para a visualização dos resultados de cada simulação.

4.1 Avaliação da disponibilidade hídrica da Bacia Hidrográfica do Rio Canoas para atender as demandas de uso da água estimadas

Este resultado está relacionado ao objetivo específico de avaliar a disponibilidade de água na Bacia Hidrográfica do Rio Canoas, para atender as demandas de uso da água, com base nos critérios de prioridades, de permanência da vazão ecológica nos pontos de controle e nos índices de vazão definidos na metodologia.

Essa avaliação está apresentada em três cenários de simulação: o cenário 1 apresenta a simulação utilizando o índice de vazão média de longo período; o cenário 2 apresenta a simulação utilizando uma vazão de permanência de 95 % do tempo com vazão ecológica; e o cenário 3 apresenta a simulação utilizando a vazão de permanência de 95 % do tempo sem incluir a vazão ecológica.

Segundo Tucci (2002), a disponibilidade hídrica máxima de uma bacia hidrográfica é a vazão média, porque a vazão média é a maior vazão que pode ser regularizada. Considerar o índice estimado de vazão média permite a avaliação dos limites superiores do uso da água de um manancial para diferentes finalidades. A relação da disponibilidade hídrica máxima, representada pela vazão média e a mínima, representada por uma vazão característica da série é um indicador da necessidade de regularização de um rio.

A vazão mínima está relacionada a uma duração, pois o uso da água não é um processo instantâneo. Segundo Tucci (2002) existem alguns índices de vazões mínimas característicos que são utilizados em projetos de recursos hídricos e que são indicadores de estiagens de um rio. Os mais utilizados são a vazão mínima com 7 dias de duração e 10 anos de período de retorno e a vazão com 95% de permanência.

Cenário 1: Avaliação da disponibilidade hídrica considerando as vazões médias na bacia hidrográfica

Foram utilizadas as vazões médias calculadas pelo modelo de regionalização do IPH como dado de aporte hídrico aos pontos de entrada de água no sistema. Esse procedimento permite avaliar, através da variação entre a disponibilidade e o déficit no atendimento, as demandas estimadas segundo os critérios de priorização pré-estabelecidos a garantia de abastecimento de água por tipo de uso e município.

A Tabela 28 apresenta os resultados obtidos por sub-bacia hidrográfica considerando a demanda total por sub-bacia e o atendimento à vazão ecológica nas seções de controle. A Figura 45 apresenta o resultado do índice de garantia de abastecimento por sub-bacia às demandas totais das sub-bacias. A Tabela 29 apresenta os resultados do balanço hídrico para todos os municípios da bacia hidrográfica.

Tabela 28 : Avaliação da disponibilidade hídrica por sub-bacia, considerando o aporte hídrico médio na bacia, utilizando os índices de vazão média calculados pela Equação de Regionalização do IPH.

Sub Bacia	Usos da água			Vazão Ecológica			Q ent. Q (med) (m³/s)
	Demanda (m³/s)	Déficit (m³/s)	Garantia (%)	Demanda (m³/s)	Déficit (m³/s)	Garantia (%)	
1	14,52	0	100,00	35,17	0	100,00	14,52
2	3,26	0	100,00	31,48	0	100,00	3,26
3	8,18	0	100,00	8,55	0	100,00	8,18
4	0,6	0	100,00	2,47	0	100,00	0,6
5	5,41	0	100,00	4,09	0	100,00	5,41
6	4,64	0	100,00	5,43	0	100,00	4,64
7	3,97	0	100,00	1,85	0	100,00	3,97
8	3,11	0	100,00	11,22	0	100,00	3,11
9	1,29	0	100,00	1,63	0	100,00	1,29
10	1,08	0	100,00	2,65	0	100,00	1,08

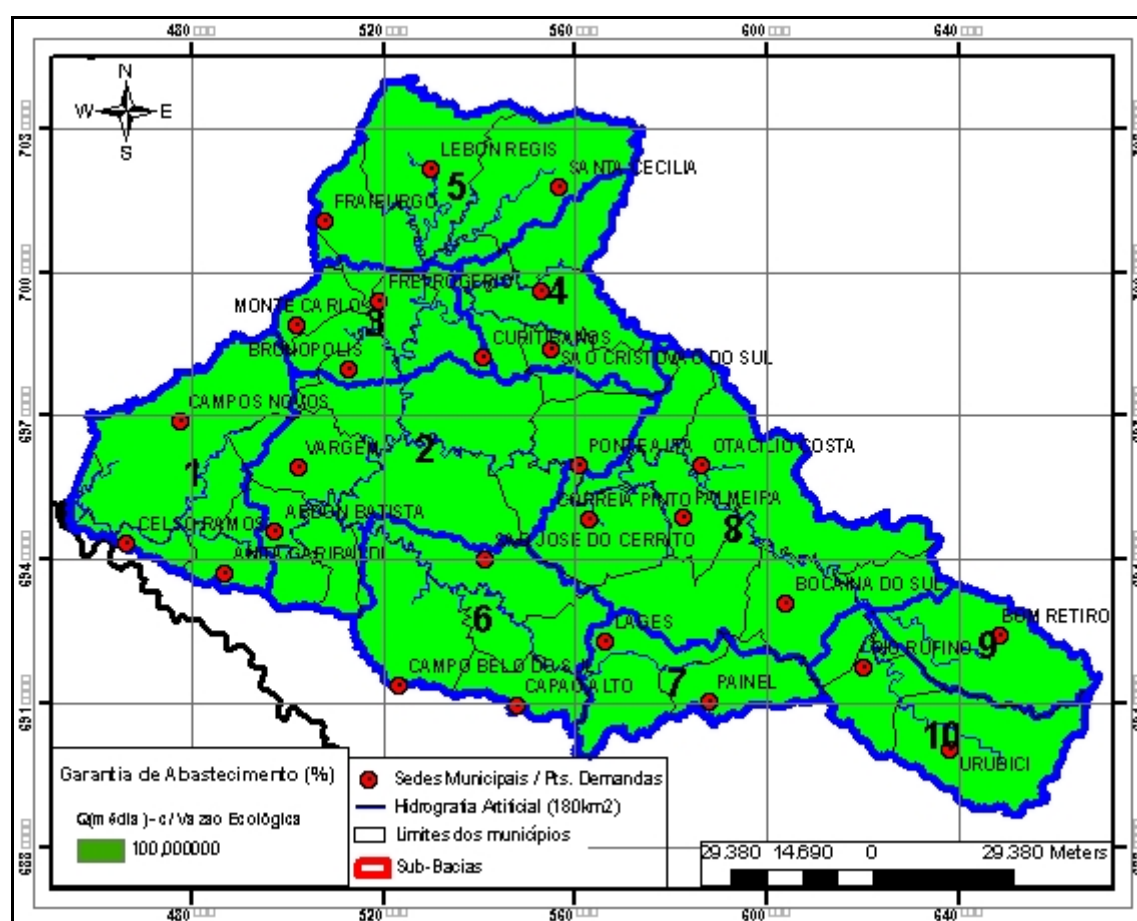


Figura 45: Resultado da simulação com rede de fluxo para avaliação da disponibilidade hídrica por sub-bacias de controle na Bacia Hidrográfica do Rio Canoas considerando a vazão média.

Tabela 29 : Avaliação da disponibilidade hídrica por município, considerando o aporte hídrico médio na bacia, utilizando os índices de vazão média calculados pela Equação de Regionalização do IPH.

Municípios	Consumo Agricultura			Consumo Animal			Consumo Industrial			Abastecimento Humano			Total		
	Dem. (m³/s)	Def. (m³/s)	Atend (%)	Dem. (m³/s)	Def. (m³/s)	Atend (%)	Dem. (m³/s)	Def. (m³/s)	Atend (%)	Dem. (m³/s)	Def. (m³/s)	Atend (%)	Dem. (m³/s)	Def. (m³/s)	Atend (%)
Abdon Batista	0,89	0	100,00	0,01	0	100,00	0	0		0,01	0	100,00	0,91	0	100,00
Anita Garibaldi	0,98	0	100,00	0,01	0	100,00	0,05	0	100,00	0,05	0	100,00	1,09	0	100,00
Bocaina do Sul	0,42	0	100,00	0,01	0	100,00	0	0		0,01	0	100,00	0,44	0	100,00
Bom Retiro	1,14	0	100,00	0,06	0	100,00	0,05	0	100,00	0,04	0	100,00	1,29	0	100,00
Brunópolis	1,73	0	100,00	0,01	0	100,00	0,01	0	100,00	0,01	0	100,00	1,76	0	100,00
Campo Belo do Sul	1,28	0	100,00	0,01	0	---	0,06	0		0,04	0	100,00	1,39	0	100,00
Campos Novos	12,09	0	100,00	0,22	0	100,00	0,4	0	100,00	0,01	0	100,00	12,72	0	100,00
Capão Alto	0,09	0	100,00	0	0	---	0	0	---	0,01	0	100,00	0,1	0	100,00
Celso Ramos	0,68	0	100,00	0,01	0	100,00	0,01	0	100,00	0,01	0	100,00	0,71	0	100,00
Cerro Negro	0,56	0	100,00	0,01	0	100,00	---	---	---	---	---	---	0,57	0	100,00
Correia Pinto	1,04	0	100,00	0,02	0	100,00	0,31	0	100,00	0,16	0	100,00	1,53	0	100,00
Curitibanos	3,62	0	100,00	0,03	0	100,00	0,66	0	100,00	0,17	0	100,00	4,48	0	100,00
Fraiburgo	2,34	0	100,00	0,13	0	100,00	0,54	0	100,00	0,15	0	100,00	3,16	0	100,00
Frei Rogério	1,21	0	100,00	0,01	0	100,00	0,02	0	100,00	0,02	0	100,00	1,26	0	100,00
Lages	0,76	0	100,00	0,03	0	100,00	2,29	0	100,00	0,73	0	100,00	3,81	0	100,00
Lebon Regis	1,1	0	100,00	0,06	0	100,00	0,03	0	100,00	0,05	0	100,00	1,24	0	100,00
Monte Carlo	0,62	0	100,00	0	0	---	0	0	---	0,06	0	100,00	0,68	0	100,00
Otacílio Costa	0,54	0	100,00	0,01	0	100,00	0,29	0	100,00	0,06	0	100,00	0,9	0	100,00
Painel	0,14	0	100,00	0,01	0	100,00	0	0	---	0,01	0	100,00	0,16	0	100,00
Palmeira	0,2	0	100,00	0,01	0	100,00	0,02	0	100,00	0,01	0	100,00	0,24	0	100,00
Ponte Alta	0,52	0	100,00	0,09	0	100,00	0,03	0	100,00	0,02	0	100,00	0,66	0	100,00
Ponte Alta do Norte	0,07	0	100,00	0	0	---	0,06	0	100,00	0,01	0	100,00	0,14	0	100,00
Rio Rufino	0,28	0	100,00	0,01	0	100,00	0,2	0	100,00	0,01	0	100,00	0,5	0	100,00
Santa Cecília	0,56	0	100,00	0,01	0	100,00	0,38	0	100,00	0,06	0	100,00	1,01	0	100,00
São Cristóvão do Sul	0,28	0	100,00	0,01	0	100,00	0,13	0	100,00	0,04	0	100,00	0,46	0	100,00
São Jose do Cerrito	3,06	0	100,00	0,03	0	100,00	0,01	0	100,00	0,05	0	100,00	3,15	0	100,00
Urubici	0,32	0	100,00	0,01	0	100,00	0,2	0	100,00	0,05	0	100,00	0,58	0	100,00
Vargem	1,07	0	100,00	0,01	0	100,00	0,03	0	100,00	0,01	0	100,00	1,12	0	100,00

Cenário 2: Garantia de abastecimento em 95 % do tempo (Q95) à todas demandas estimadas incluindo a vazão ecológica

Foram utilizadas as vazões de permanência para 95 % do tempo, calculadas pelo modelo de regionalização do IPH, como dado de aporte hídrico aos pontos de entrada de água no sistema. Esse procedimento permite avaliar através da variação entre a disponibilidade e o déficit no atendimento às demandas, segundo os critérios de priorização pré-estabelecidos para uma situação hidrológica desfavorável, ou com uma alta garantia de permanência, de 95 % do tempo. Nesse cenário, foi incluída a manutenção da vazão ecológica nas seções de controle, com critério de prioridade máximo (1) para seu abastecimento.

A Tabela 30 apresenta os resultados obtidos por sub-bacia hidrográfica considerando a demanda total por sub-bacia e o atendimento à vazão ecológica nas seções de controle. A Figura 46 apresenta o resultado do índice de garantia de abastecimento por sub-bacia as demandas totais da sub-bacias. A Tabela 31 apresenta os resultados do balanço hídrico para todos os municípios da bacia hidrográfica.

Tabela 30 : Avaliação da disponibilidade hídrica por sub-bacia, considerando uma permanência de 95 % da vazão média calculadas pela Equação de Regionalização do IPH.

Sub-Bacia	Usos da água			Vazão Ecológica			Q ent. Q(95) (m³/s)
	Demanda (m³/s)	Déficit (m³/s)	Garantia (%)	Demanda (m³/s)	Déficit (m³/s)	Garantia (%)	
1	14,52	13,02	10,33	35,17	0	100,00	14,52
2	3,26	0,52	84,05	31,48	0	100,00	3,26
3	8,18	6,43	21,39	8,55	0	100,00	8,18
4	0,6	0,35	41,67	2,47	0	100,00	0,6
5	5,41	4	26,06	4,09	0	100,00	5,41
6	4,64	3,19	31,25	5,43	0	100,00	4,64
7	3,97	3,23	18,64	1,85	0,03	98,38	3,97
8	3,11	0,06	98,07	11,22	0	100,00	3,11
9	1,29	0,67	48,06	1,63	0	100,00	1,29
10	1,08	0,03	97,22	2,65	0	100,00	1,08

Tabela 31: Avaliação da disponibilidade hídrica por sub-bacia, considerando uma permanência de 95 % da vazão média calculadas pela Equação de Regionalização do IPH.

Municípios	Consumo Agricultura			Consumo Animal			Consumo Industrial			Abastecimento Humano			Total		
	Dem. (m³/s)	Def. (m³/s)	Atend (%)	Dem. (m³/s)	Def. (m³/s)	Atend (%)	Dem. (m³/s)	Def. (m³/s)	Atend (%)	Dem. (m³/s)	Def. (m³/s)	Atend (%)	Dem. (m³/s)	Def. (m³/s)	Atend (%)
Abdon Batista	0,89	0,52	41,57	0,01	0	100,00	0	0	---	0,01	0	100,00	0,91	0,52	42,86
Anita Garibaldi	0,98	0,22	77,55	0,01	0	100,00	0,05	0	100,00	0,05	0	100,00	1,09	0,22	79,82
Bocaina do Sul	0,42	0	100,00	0,01	0	100,00	0	0	---	0,01	0	100,00	0,44	0	100,00
Bom Retiro	1,14	0,67	41,23	0,06	0	100,00	0,05	0	100,00	0,04	0	100,00	1,29	0,67	48,06
Brunópolis	1,73	1,73	0,00	0,01	0	100,00	0,01	0	100,00	0,01	0	100,00	1,76	1,73	1,70
Campo Belo do Sul	1,28	0,04	96,88	0,01	0	100,00	0,06	0	100,00	0,04	0	100,00	1,39	0,04	97,12
Campos Novos	12,09	12,09	0,00	0,22	0	100,00	0,4	0	100,00	0,01	0	100,00	12,72	12,09	4,95
Capão Alto	0,09	0,09	0,00	0	0	---	0	0	---	0,01	0	100,00	0,10	0,09	10,00
Celso Ramos	0,68	0,68	0,00	0,01	0	100,00	0,01	0	100,00	0,01	0	100,00	0,71	0,68	4,23
Cerro Negro	0,56	0	100,00	0,01	0	100,00	---	---	---	---	---	---	0,57	0	100,00
Correia Pinto	1,04	0,06	94,23	0,02	0	100,00	0,31	0	100,00	0,16	0	100,00	1,53	0,06	96,08
Curitibanos	3,62	3,62	0,00	0,03	0	100,00	0,66	0,46	30,30	0,17	0	100,00	4,48	4,08	8,93
Fraiburgo	2,34	2,34	0,00	0,13	0	100,00	0,54	0	100,00	0,15	0	100,00	3,16	2,34	25,95
Frei Rogério	1,21	0	100,00	0,01	0	100,00	0,02	0	100,00	0,02	0	100,00	1,26	0	100,00
Lages	0,76	0,76	0,00	0,03	0,03	0,00	2,29	2,29	0,00	0,73	0	100,00	3,81	3,08	19,16
Lebon Regis	1,1	1,1	0,00	0,06	0	100,00	0,03	0	100,00	0,05	0	100,00	1,24	1,1	11,29
Monte Carlo	0,62	0,62	0,00	0	0	---	0	0	---	0,06	0	100,00	0,68	0,62	8,82
Otacilio Costa	0,54	0	100,00	0,01	0	100,00	0,29	0	100,00	0,06	0	100,00	0,90	0	100,00
Painel	0,14	0,14	0,00	0,01	0,01	0,00	0	0	---	0,01	0	100,00	0,16	0,15	6,25
Palmeira	0,2	0	100,00	0,01	0	100,00	0,02	0	100,00	0,01	0	100,00	0,24	0	100,00
Ponte Alta	0,52	0	100,00	0,09	0	100,00	0,03	0	100,00	0,02	0	100,00	0,66	0	100,00
Ponte Alta do Norte	0,07	0,07	0,00	0	0	---	0,06	0	100,00	0,01	0	100,00	0,14	0,07	50,00
Rio Rufino	0,28	0,03	89,29	0,01	0	100,00	0,2	0	100,00	0,01	0	100,00	0,50	0,03	94,00
Santa Cecília	0,56	0,56	0,00	0,01	0	100,00	0,38	0	100,00	0,06	0	100,00	1,01	0,56	44,55
São Cristóvão do Sul	0,28	0,28	0,00	0,01	0	100,00	0,13	0	100,00	0,04	0	100,00	0,46	0,28	39,13
São Jose do Cerrito	3,06	3,06	0,00	0,03	0	100,00	0,01	0	100,00	0,05	0	100,00	3,15	3,06	2,86
Urubici	0,32	0	100,00	0,01	0	100,00	0,2	0	100,00	0,05	0	100,00	0,58	0	100,00
Vargem	1,07	0	100,00	0,01	0	100,00	0,03	0	100,00	0,01	0	100,00	1,12	0	100,00

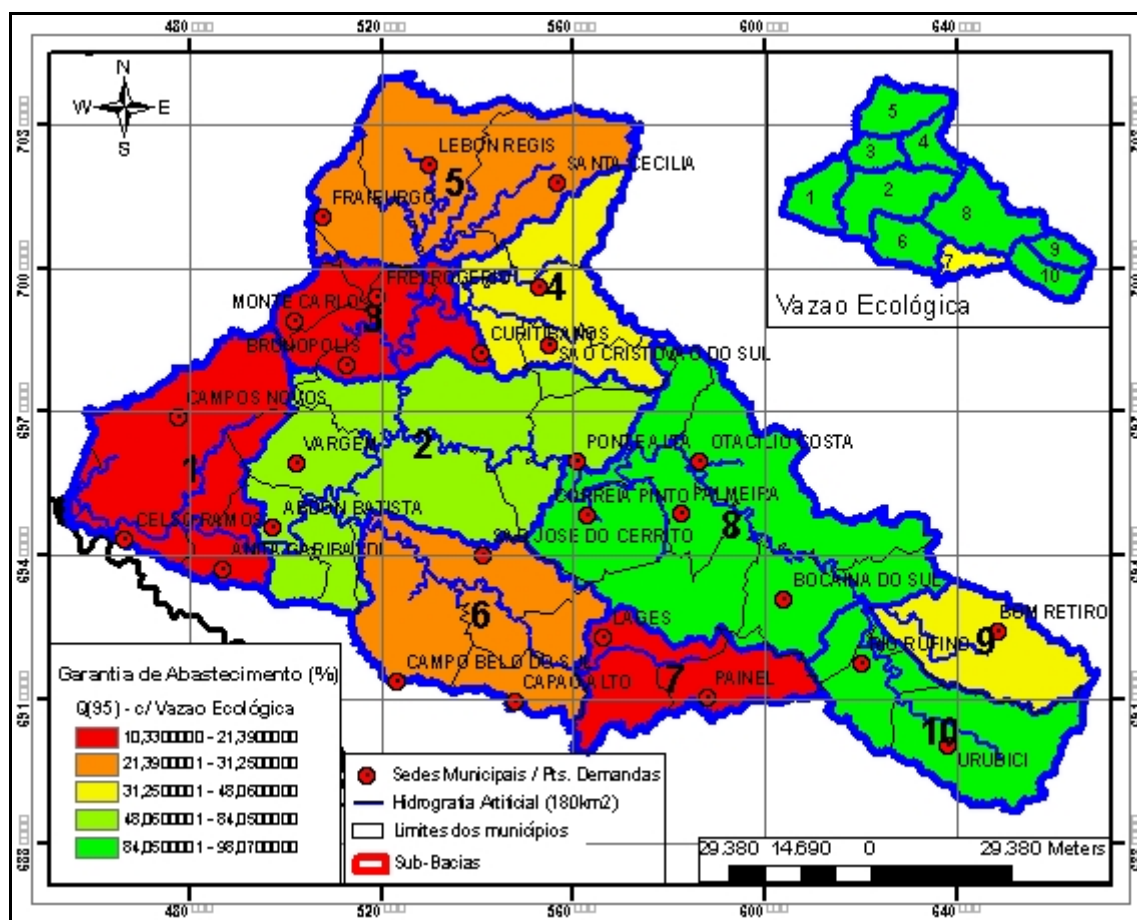


Figura 46: Resultado da simulação com rede de fluxo para avaliação da capacidade de abastecimento de todas as demandas por sub-bacias de controle na Bacia Hidrográfica do Rio Canoas considerando uma permanência de 95% do tempo e vazão ecológica.

Cenário 3: Garantia de abastecimento em 95% do tempo (Q95) à todas demandas estimadas excluindo a vazão ecológica

Foram utilizadas as vazões de permanência para 95% do tempo, calculadas pelo modelo de regionalização do IPH, como dado de aporte hídrico aos pontos de entrada de água no sistema. Esse procedimento permite avaliar através da variação entre a disponibilidade e o déficit no atendimento às demandas segundo os critérios de priorização pré estabelecidos para uma situação hidrológica desfavorável ou com uma alta garantia de permanência, de 95% do tempo. Nesse cenário, foi incluída a manutenção da vazão ecológica nas seções de controle, com critério de prioridade mínimo (99) para seu abastecimento.

A Tabela 32 apresenta os resultados obtidos por sub-bacia hidrográfica considerando a demanda total por sub-bacia e o atendimento a vazão ecológica nas seções de controle. A Figura 47 apresenta o resultado do índice de garantia de abastecimento por sub-bacia as demandas totais da sub-bacias. A Tabela 33 apresenta os resultados do balanço hídrico para todos os municípios da bacia hidrográfica.

Tabela 32 : Avaliação da disponibilidade hídrica por sub-bacia, considerando uma permanência de 95 % da vazão média calculadas pela Equação de Regionalização do IPH.

Sub-Bacia	Usos da água			Vazão Ecológica			Q ent. Q(95) (m³/s)
	Demanda (m³/s)	Déficit (m³/s)	Garantia (%)	Demanda (m³/s)	Déficit (m³/s)	Garantia (%)	
1	14,52	0	100,00	35,17	35,17	0,00	14,52
2	3,26	0	100,00	31,48	14,83	52,89	3,26
3	8,18	2,24	72,62	8,55	8,55	0,00	8,18
4	0,6	0	100,00	2,47	2,47	0,00	0,6
5	5,41	0	100,00	4,09	4,09	0,00	5,41
6	4,64	0	100,00	5,43	5,01	7,73	4,64
7	3,97	1,41	64,48	1,85	1,85	0,00	3,97
8	3,11	0	100,00	11,22	0,76	93,23	3,11
9	1,29	0	100,00	1,63	0,67	58,90	1,29
10	1,08	0	100,00	2,65	0,03	98,87	1,08

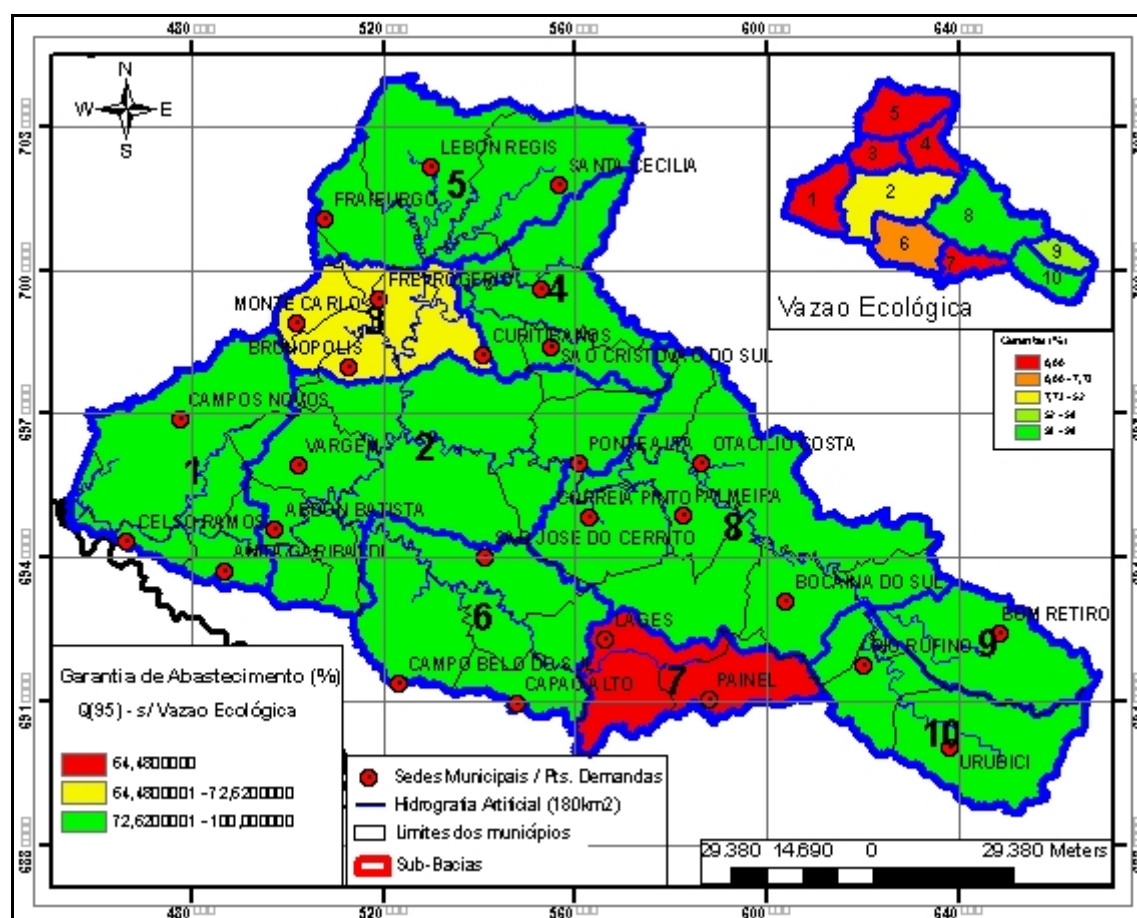


Figura 47: Resultado da simulação com rede de fluxo para avaliação da capacidade de abastecimento de todas as demandas por sub-bacias de controle na Bacia Hidrográfica do Rio Canoas.

Tabela 33: Avaliação da garantia de abastecimento das demandas estimadas por município, considerando uma permanência de 95 % da vazão média calculadas pela Equação de Regionalização do IPH com baixa prioridade para a vazão ecológica.

Municípios	Consumo Agricultura			Consumo Animal			Consumo Industrial			Abastecimento Humano			Total		
	Dem. (m³/s)	Def. (m³/s)	Atend (%)	Dem. (m³/s)	Def. (m³/s)	Atend (%)	Dem. (m³/s)	Def. (m³/s)	Atend (%)	Dem. (m³/s)	Def. (m³/s)	Atend (%)	Dem. (m³/s)	Def. (m³/s)	Atend (%)
Abdon Batista	0,89	0	100,00	0,01	0	100,00	0	0	---	0,01	0	100,00	0,91	0	100,00
Anita Garibaldi	0,98	0	100,00	0,01	0	100,00	0,05	0	100,00	0,05	0	100,00	1,09	0	100,00
Bocaina do Sul	0,42	0	100,00	0,01	0	100,00	0	0	---	0,01	0	100,00	0,44	0	100,00
Bom Retiro	1,14	0	100,00	0,06	0	100,00	0,05	0	100,00	0,04	0	100,00	1,29	0	100,00
Brunópolis	1,73	0,41	76,30	0,01	0	100,00	0,01	0	100,00	0,01	0	100,00	1,76	0,41	76,70
Campo Belo do Sul	1,28	0	100,00	0,01	0	100,00	0,06	0	100,00	0,04	0	100,00	1,39	0	100,00
Campos Novos	12,09	0	100,00	0,22	0	100,00	0,4	0	100,00	0,01	0	100,00	12,72	0	100,00
Capão Alto	0,09	0	100,00	0	0	---	0	0	---	0,01	0	100,00	0,10	0	100,00
Celso Ramos	0,68	0	100,00	0,01	0	100,00	0,01	0	100,00	0,01	0	100,00	0,71	0	100,00
Cerro Negro	0,56	0	100,00	0,01	0	100,00	---	---	---	---	---	---	0,57	0	100,00
Correia Pinto	1,04	0	100,00	0,02	0	100,00	0,31	0	100,00	0,16	0	100,00	1,53	0	100,00
Curitibanos	3,62	1,21	66,57	0,03	0	100,00	0,66	0	100,00	0,17	0	100,00	4,48	1,21	72,99
Fraiburgo	2,34	0	100,00	0,13	0	100,00	0,54	0	100,00	0,15	0	100,00	3,16	0	100,00
Frei Rogério	1,21	0	100,00	0,01	0	100,00	0,02	0	100,00	0,02	0	100,00	1,26	0	100,00
Lages	0,76	0,76	0,00	0,03	0	100,00	2,29	0,51	77,73	0,73	0	100,00	3,81	1,27	66,67
Lebon Regis	1,1	0	100,00	0,06	0	100,00	0,03	0	100,00	0,05	0	100,00	1,24	0	100,00
Monte Carlo	0,62	0,62	0,00	0	0	---	0	0	---	0,06	0	100,00	0,68	0,62	8,82
Otacílio Costa	0,54	0	100,00	0,01	0	100,00	0,29	0	100,00	0,06	0	100,00	0,90	0	100,00
Painel	0,14	0,14	0,00	0,01	0	100,00	0	0	---	0,01	0	100,00	0,16	0,14	12,50
Palmeira	0,2	0	100,00	0,01	0	100,00	0,02	0	100,00	0,01	0	100,00	0,24	0	100,00
Ponte Alta	0,52	0	100,00	0,09	0	100,00	0,03	0	100,00	0,02	0	100,00	0,66	0	100,00
Ponte Alta do Norte	0,07	0	100,00	0	0	---	0,06	0	100,00	0,01	0	100,00	0,14	0	100,00
Rio Rufino	0,28	0	100,00	0,01	0	100,00	0,2	0	100,00	0,01	0	100,00	0,50	0	100,00
Santa Cecília	0,56	0	100,00	0,01	0	100,00	0,38	0	100,00	0,06	0	100,00	1,01	0	100,00
São Cristóvão do Sul	0,28	0	100,00	0,01	0	100,00	0,13	0	100,00	0,04	0	100,00	0,46	0	100,00
São Jose do Cerrito	3,06	0	100,00	0,03	0	100,00	0,01	0	100,00	0,05	0	100,00	3,15	0	100,00
Urubici	0,32	0	100,00	0,01	0	100,00	0,2	0	100,00	0,05	0	100,00	0,58	0	100,00
Vargem	1,07	0	100,00	0,01	0	100,00	0,03	0	100,00	0,01	0	100,00	1,12	0	100,00

O cenário 1, como já era esperado, apresentou uma garantia de 100% de abastecimento para todas as demandas de água na bacia hidrográfica. Em todos os pontos de controle, foi atendida a vazão ecológica e o reservatório na saída da bacia apresentou um aporte médio de 320 m³/s.

Esse cenário representa os limites superiores de uso da água na bacia hidrográfica e demonstra que em média todas as demandas estimadas podem ser abastecidas incluindo a manutenção da vazão ecológica no leito dos rios. A disponibilidade de água considerada pela vazão média está condicionada à capacidade de regularização da água no sistema hídrico da bacia hidrográfica. Desta forma, a disponibilidade hídrica da vazão média representa um valor potencial, que depende da ampliação da infra-estrutura hidráulica da bacia hidrográfica.

Nos cenários 2 e 3, a disponibilidade hídrica é representada por um critério de permanência no tempo, considerando desta forma, um limite com uma determinada garantia de permanência. Foi considerada a permanência das vazões em 95% do tempo em um ano hidrológico.

No cenário 2, a garantia de abastecimento às Sub-bacias 1, 3 e 7 apresentou índices abaixo de 20 % de atendimento à demanda total de água. Tal resultado é influenciado pelos grandes déficits das demandas agrícolas sobre estimadas para as Sub-bacias. Os abastecimentos urbanos foram garantidos em todos os municípios. A demanda animal não foi completamente atendida em Lages e Paineira. As demandas industriais não foram completamente atendidas em Lages e Curitiba. A vazão ecológica considerada de 100 % da Q(7,10) é mantida em todos os trechos das seções de controle, com pequena exceção na Sub-bacia 7. O resultado dessa simulação mostra as bacias 1, 3 e 7 como as áreas mais comprometidas para abastecer todas as suas demandas estimadas mantendo uma vazão ecológica de 100% da Q(7,10) no leito do rio e as bacias 10 e 8 com a maior capacidade de atender suas demandas nessas condições..

No cenário 3, onde a vazão ecológica foi incluída com um critério de prioridade baixa, o que representa que a água só é destinada a esse uso, se suprir todas as outras demandas da rede de fluxo antes. Nesse cenário, a vazão ecológica não foi atendida completamente em nenhuma das sub-bacias hidrográficas. As sub-bacias 8 e 10 apresentaram índices de abastecimento maiores que 90%. As Sub-bacias 2 e 9 conseguiram atender ao menos 50% do critério de manutenção de uma vazão ecológica no rio e as sub-bacias 1, 3, 4, 5 e 7 não conseguiram manter uma vazão ecológica. Todas as demandas para abastecimento humano foram completamente atendidas, assim como as demandas para uso animal. O abastecimento

industrial só ficou comprometido no município de Lages e apenas as Sub-bacias 7 e 3 tiveram restrições ao abastecimento agrícola.

4.2 Garantia de abastecimento de água segundo critérios de outorga na Bacia Hidrográfica do Rio Canoas

Para avaliar a capacidade do sistema hídrico de atendimento das demandas estimadas na bacia, considerando a disponibilidade de água definida por critérios de outorga, foram elaborados cenários de garantia de abastecimento segundo os critérios de outorga de 30 %, 50 % e 100 % da vazão de referência $Q(7,10)$ e 90 % da vazão de referência $Q(95)$ para simular cenários de uso da água na bacia.

Foram utilizados os índices hidrológicos calculados através das equações de regionalização considerando as respectivas vazões de referência e os critérios de outorga definidos por cenário em estudo. As vazões de entrada por sub-bacia representam a disponibilidade hídrica por sub-bacia em análise. A capacidade em atender as demandas estimadas indica a garantia em atender as demandas de água para outorga segundo os critérios pré-estabelecidos.

Cenário 4: Atendimento às demandas estimadas com outorga de 100 % da $Q(7,10)$

Como dado de aporte hídrico aos pontos de entrada de água no sistema, foram utilizadas as vazões mínimas $Q(7,10)$, calculadas pelo modelo de regionalização do IPH, multiplicadas pelo critério de outorga de 100%. A Tabela 34 apresenta os resultados para a garantia de abastecimento segundo cada tipo de uso da água por município, comparando as demandas estimadas com a disponibilidade hídrica no ponto de captação. A Tabela 35 apresenta os resultados por sub-bacia considerada. A Figura 48 apresenta a garantia de abastecimento considerando a soma de todas as demandas e respectivas disponibilidades de água por sub-bacia de análise.

Cenário 5: Atendimento às demandas estimadas com outorga de 50 % da $Q(7,10)$

Como dado de aporte hídrico aos pontos de entrada de água no sistema, foram utilizadas as vazões mínimas $Q(7,10)$, calculadas pelo modelo de regionalização do IPH, multiplicadas pelo critério de outorga de 50%. A Tabela 36 apresenta os resultados para a garantia de abastecimento segundo cada tipo de uso da água por município, comparando as demandas estimadas com a disponibilidade hídrica no ponto de captação. A Tabela 37 apresenta os resultados por sub-bacia considerada. A Figura 49 apresenta a garantia de abastecimento considerando a soma de todas as demandas e respectivas disponibilidades de água por sub-bacia de análise.

Cenário 6: Atendimento às demandas estimadas com outorga de 30 % da $Q(7,10)$

Como dado de aporte hídrico aos pontos de entrada de água no sistema, foram utilizadas as vazões mínimas $Q(7,10)$, calculadas pelo modelo de regionalização do IPH, multiplicadas pelo critério de outorga de 30%. A Tabela 38 apresenta os resultados para a garantia de abastecimento segundo cada tipo de uso da água por município, comparando as demandas estimadas com a disponibilidade hídrica no ponto de captação. A Tabela 39 apresenta os resultados por sub-bacia considerada. A Figura 50 apresenta a garantia de abastecimento considerando a soma de todas as demandas e respectivas disponibilidades de água por sub-bacia de análise.

Cenário 7: Atendimento às demandas estimadas com outorga de 90 % da $Q(95)$

Como dado de aporte hídrico aos pontos de entrada de água no sistema, foram utilizadas as vazões de permanência $Q(95)$, calculadas pelo modelo de regionalização da ENGEORPS *et al* (2006), multiplicadas pelo critério de outorga de 90%. A Tabela 40 apresenta os resultados para a garantia de abastecimento segundo cada tipo de uso da água por

município, comparando as demandas estimadas com a disponibilidade hídrica no ponto de captação. A Tabela 41 apresenta os resultados por sub-bacia considerada. A Figura 51 apresenta a garantia de abastecimento considerando a soma de todas as demandas e respectivas disponibilidades de água por sub-bacia de análise. A Tabela 42 apresenta a síntese dos resultados para os diferentes critérios de outorga.

Tabela 34: Cenário de uso da água na bacia considerando garantias de abastecimento por tipo de uso e município segundo disponibilidade do critério de outorga de 100% da vazão de referencia Q(7,10).

Municípios	Consumo Agricultura			Consumo Animal			Consumo Industrial			Abastecimento Humano			Total		
	Dem. (m³/s)	Def. (m³/s)	Atend (%)	Dem. (m³/s)	Def. (m³/s)	Atend (%)	Dem. (m³/s)	Def. (m³/s)	Atend (%)	Dem. (m³/s)	Def. (m³/s)	Atend (%)	Dem. (m³/s)	Def. (m³/s)	Atend (%)
Abdon Batista	0,89	0	100,00	0,01	0	100,00	0	0	100,00	0,01	0	100,00	0,91	0	100,00
Anita Garibaldi	0,98	0,98	0,00	0,01	0	100,00	0,05	0	100,00	0,05	0	100,00	1,09	0,98	10,09
Bocaina do Sul	0,42	0	100,00	0,01	0	100,00	0	0	---	0,01	0	100,00	0,44	0	100,00
Bom Retiro	1,14	0	100,00	0,06	0	100,00	0,05	0	100,00	0,04	0	100,00	1,29	0	100,00
Brunópolis	1,73	1,73	0,00	0,01	0	100,00	0,01	0	100,00	0,01	0	100,00	1,76	1,73	1,70
Campo Belo do Sul	1,28	0,97	24,22	0,01	0	100,00	0,06	0	100,00	0,04	0	100,00	1,39	0,97	30,22
Campos Novos	12,09	1,09	90,98	0,22	0	100,00	0,4	0	100,00	0,01	0	100,00	12,72	1,09	91,43
Capão Alto	0,09	0,09	0,00	0	0	---	0	0	---	0,01	0	100,00	0,10	0,09	10,00
Celso Ramos	0,68	0	100,00	0,01	0	100,00	0,01	0	100,00	0,01	0	100,00	0,71	0	100,00
Cerro Negro	0,56	0	100,00	0,01	0	100,00	---	---	---	---	---	---	0,57	0	100,00
Correia Pinto	1,04	0	100,00	0,02	0	100,00	0,31	0	100,00	0,16	0	100,00	1,53	0	100,00
Curitibanos	3,62	2,01	44,48	0,03	0	100,00	0,66	0	100,00	0,17	0	100,00	4,48	2,01	55,13
Fraiburgo	2,34	0	100,00	0,13	0	100,00	0,54	0	100,00	0,15	0	100,00	3,16	0	100,00
Frei Rogério	1,21	0	100,00	0,01	0	100,00	0,02	0	100,00	0,02	0	100,00	1,26	0	100,00
Lages	0,76	0,76	0,00	0,03	0	100,00	2,29	1,22	46,72	0,73	0	100,00	3,81	1,98	48,03
Lebon Regis	1,1	0,77	30,00	0,06	0	100,00	0,03	0	100,00	0,05	0	100,00	1,24	0,77	37,90
Monte Carlo	0,62	0,62	0,00	0	0	---	0	0	---	0,06	0	100,00	0,68	0,62	8,82
Otacílio Costa	0,54	0	100,00	0,01	0	100,00	0,29	0	100,00	0,06	0	100,00	0,90	0	100,00
Painel	0,14	0,14	0,00	0,01	0	100,00	0	0	---	0,01	0	100,00	0,16	0,14	12,50
Palmeira	0,2	0	100,00	0,01	0	100,00	0,02	0	100,00	0,01	0	100,00	0,24	0	100,00
Ponte Alta	0,52	0	100,00	0,09	0	100,00	0,03	0	100,00	0,02	0	100,00	0,66	0	100,00
Ponte Alta do Norte	0,07	0	100,00	0	0	---	0,06	0	100,00	0,01	0	100,00	0,14	0	100,00
Rio Rufino	0,28	0	100,00	0,01	0	100,00	0,2	0	100,00	0,01	0	100,00	0,50	0	100,00
Santa Cecília	0,56	0,56	0,00	0,01	0	100,00	0,38	0	100,00	0,06	0	100,00	1,01	0,56	44,55
São Cristóvão do Sul	0,28	0	100,00	0,01	0	100,00	0,13	0	100,00	0,04	0	100,00	0,46	0	100,00
São Jose do Cerrito	3,06	0	100,00	0,03	0	100,00	0,01	0	100,00	0,05	0	100,00	3,15	0	100,00
Urubici	0,32	0	100,00	0,01	0	100,00	0,2	0	100,00	0,05	0	100,00	0,58	0	100,00
Vargem	1,07	0	100,00	0,01	0	100,00	0,03	0	100,00	0,01	0	100,00	1,12	0	100,00

Tabela 35: Cenário de uso da água na bacia considerando garantias de abastecimento por tipo de uso e sub-bacia de referencia segundo disponibilidade do critério de outorga de 100% da vazão de referencia Q(7,10).

Sub.-Bacias	Consumo Agricultura			Consumo Animal			Consumo Industrial			Abastecimento Humano			Total		
	Dem. (m³/s)	Def. (m³/s)	Atend (%)	Dem. (m³/s)	Def. (m³/s)	Atend (%)	Dem. (m³/s)	Def. (m³/s)	Atend (%)	Dem. (m³/s)	Def. (m³/s)	Atend (%)	Dem. (m³/s)	Def. (m³/s)	Atend (%)
1	13,75	2,07	84,95	0,24	0	100,00	0,46	0	100,00	0,07	0	100,00	14,52	2,07	85,74
2	3,04	0	100,00	0,12	0	100,00	0,06	0	100,00	0,04	0	100,00	3,26	0	100,00
3	7,18	4,36	39,28	0,05	0	100,00	0,69	0	100,00	0,26	0	100,00	8,18	4,36	46,70
4	0,35	0	100,00	0,01	0	100,00	0,19	0	100,00	0,05	0	100,00	0,6	0	100,00
5	4	1,33	66,75	0,2	0	100,00	0,95	0	100,00	0,26	0	100,00	5,41	1,33	75,42
6	4,43	1,06	76,07	0,04	0	100,00	0,07	0	100,00	0,1	0	100,00	4,64	1,06	77,16
7	0,9	0,9	0,00	0,04	0	100,00	2,29	1,22	46,72	0,74	0	100,00	3,97	2,12	46,60
8	2,2	0	100,00	0,05	0	100,00	0,62	0	100,00	0,24	0	100,00	3,11	0	100,00
9	1,14	0	100,00	0,06	0	100,00	0,05	0	100,00	0,04	0	100,00	1,29	0	100,00
10	0,6	0	100,00	0,02	0	100,00	0,4	0	100,00	0,06	0	100,00	1,08	0	100,00

Tabela 36: Cenário de uso da água na bacia considerando garantias de abastecimento por tipo de uso e município segundo disponibilidade do critério de outorga de 50% da vazão de referencia Q(7,10).

Municípios	Consumo Agricultura			Consumo Animal			Consumo Industrial			Abastecimento Humano			Total		
	Dem. (m³/s)	Def. (m³/s)	Atend (%)	Dem. (m³/s)	Def. (m³/s)	Atend (%)	Dem. (m³/s)	Def. (m³/s)	Atend (%)	Dem. (m³/s)	Def. (m³/s)	Atend (%)	Dem. (m³/s)	Def. (m³/s)	Atend (%)
Abdon Batista	0,89	0	100,00	0,01	0	100,00	0	0	---	0,01	0	100,00	0,91	0	100,00
Anita Garibaldi	0,98	0,98	0,00	0,01	0	100,00	0,05	0	100,00	0,05	0	100,00	1,09	0,98	10,09
Bocaina do Sul	0,42	0	100,00	0,01	0	100,00	0	0	---	0,01	0	100,00	0,44	0	100,00
Bom Retiro	1,14	0,8	29,82	0,06	0	100,00	0,05	0	100,00	0,04	0	100,00	1,29	0,8	37,98
Brunópolis	1,73	1,73	0,00	0,01	0	100,00	0,01	0	100,00	0,01	0	100,00	1,76	1,73	1,70
Campo Belo do Sul	1,28	1,28	0,00	0,01	0	100,00	0,06	0	---	0,04	0	100,00	1,39	1,28	7,91
Campos Novos	12,09	11,13	7,94	0,22	0	100,00	0,4	0	100,00	0,01	0	100,00	12,72	11,13	12,50
Capão Alto	0,09	0,09	0,00	0	0	---	0	0	---	0,01	0	100,00	0,1	0,09	10,00
Celso Ramos	0,68	0	100,00	0,01	0	100,00	0,01	0	100,00	0,01	0	100,00	0,71	0	100,00
Cerro Negro	0,56	0	100,00	0,01	0	100,00	---	---	---	---	---	---	0,57	0	100,00
Correia Pinto	1,04	0	100,00	0,02	0	100,00	0,31	0	100,00	0,16	0	100,00	1,53	0	100,00
Curitibanos	3,62	3,62	0,00	0,03	0	100,00	0,66	0	100,00	0,17	0	100,00	4,48	3,62	19,20
Fraiburgo	2,34	2,34	0,00	0,13	0	100,00	0,54	0	100,00	0,15	0	100,00	3,16	2,34	25,95
Frei Rogério	1,21	0	100,00	0,01	0	100,00	0,02	0	100,00	0,02	0	100,00	1,26	0	100,00
Lages	0,76	0,76	0,00	0,03	0	100,00	2,29	2,15	6,11	0,73	0	100,00	3,81	2,91	23,62
Lebon Regis	1,1	1,1	0,00	0,06	0	100,00	0,03	0	100,00	0,05	0	100,00	1,24	1,1	11,29
Monte Carlo	0,62	0,62	0,00	0	0	---	0	0	---	0,06	0	100,00	0,68	0,62	8,82
Otacílio Costa	0,54	0	100,00	0,01	0	100,00	0,29	0	100,00	0,06	0	100,00	0,9	0	100,00
Painel	0,14	0,14	0,00	0,01	0	100,00	0	0	---	0,01	0	100,00	0,16	0,14	12,50
Palmeira	0,2	0	100,00	0,01	0	100,00	0,02	0	100,00	0,01	0	100,00	0,24	0	100,00

Municípios	Consumo Agricultura			Consumo Animal			Consumo Industrial			Abastecimento Humano				Total	
	Dem. (m³/s)	Def. (m³/s)	Atend (%)	Dem. (m³/s)	Def. (m³/s)	Dem. (m³/s)	Def. (m³/s)	Atend (%)	Dem. (m³/s)	Def. (m³/s)	Dem. (m³/s)	Def. (m³/s)	Atend (%)	Dem. (m³/s)	Def. (m³/s)
Ponte Alta	0,52	0,31	40,38	0,09	0	100,00	0,03	0	100,00	0,02	0	100,00	0,66	0,31	53,03
Ponte Alta do Norte	0,07	0,01	85,71	0	0	---	0,06	0	100,00	0,01	0	100,00	0,14	0,01	92,86
Rio Rufino	0,28	0	100,00	0,01	0	100,00	0,2	0	100,00	0,01	0	100,00	0,5	0	100,00
Santa Cecília	0,56	0,56	0,00	0,01	0	100,00	0,38	0	100,00	0,06	0	100,00	1,01	0,56	44,55
São Cristóvão do Sul	0,28	0	100,00	0,01	0	100,00	0,13	0	100,00	0,04	0	100,00	0,46	0	100,00
São Jose do Cerrito	3,06	1,49	51,31	0,03	0	100,00	0,01	0	100,00	0,05	0	100,00	3,15	1,49	52,70
Urubici	0,32	0,29	9,38	0,01	0	100,00	0,2	0	100,00	0,05	0	100,00	0,58	0,29	50,00
Vargem	1,07	0	100,00	0,01	0	100,00	0,03	0	100,00	0,01	0	100,00	1,12	0	100,00

Tabela 37: Cenário de uso da água na bacia considerando garantias de abastecimento por tipo de uso e sub-bacia segundo disponibilidade do critério de outorga de 50% da vazão de referência Q(7,10).

Sub-Bacias	Consumo Agricultura			Consumo Animal			Consumo Industrial			Abastecimento Humano			Total		
	Dem. (m³/s)	Def. (m³/s)	Atend (%)	Dem. (m³/s)	Def. (m³/s)	Atend (%)	Dem. (m³/s)	Def. (m³/s)	Atend (%)	Dem. (m³/s)	Def. (m³/s)	Atend (%)	Dem. (m³/s)	Def. (m³/s)	Atend (%)
1	13,75	12,11	11,93	0,24	0	100,00	0,46	0	100,00	0,07	0	100,00	14,52	12,11	16,60
2	3,04	0,31	89,80	0,12	0	100,00	0,06	0	100,00	0,04	0	100,00	3,26	0,31	90,49
3	7,18	5,97	16,85	0,05	0	100,00	0,69	0	100,00	0,26	0	100,00	8,18	5,97	27,02
4	0,35	0,01	97,14	0,01	0	100,00	0,19	0	100,00	0,05	0	100,00	0,6	0,01	98,33
5	4	4	0,00	0,2	0	100,00	0,95	0	100,00	0,26	0	100,00	5,41	4	26,06
6	4,43	2,86	35,44	0,04	0	100,00	0,07	0	100,00	0,1	0	100,00	4,64	2,86	38,36
7	0,9	0,9	0,00	0,04	0	100,00	2,29	2,15	6,11	0,74	0	100,00	3,97	3,05	23,17
8	2,2	0	100,00	0,05	0	100,00	0,62	0	100,00	0,24	0	100,00	3,11	0	100,00
9	1,14	0,8	29,82	0,06	0	100,00	0,05	0	100,00	0,04	0	100,00	1,29	0,8	37,98
10	0,6	0,29	51,67	0,02	0	100,00	0,4	0	100,00	0,06	0	100,00	1,08	0,29	73,15

Tabela 38: Cenário de uso da água na bacia considerando garantias de abastecimento por tipo de uso e município segundo disponibilidade do critério de outorga de 30% da vazão de referência Q(7,10).

Municípios	Consumo Agricultura			Consumo Animal			Consumo Industrial			Abastecimento Humano			Total		
	Dem. (m³/s)	Def. (m³/s)	Atend (%)	Dem. (m³/s)	Def. (m³/s)	Atend (%)	Dem. (m³/s)	Def. (m³/s)	Atend (%)	Dem. (m³/s)	Def. (m³/s)	Atend (%)	Dem. (m³/s)	Def. (m³/s)	Atend (%)
Abdon Batista	0,89	0,15	83,15	0,01	0	100,00	0	0	---	0,01	0	100,00	0,91	0,15	83,52
Anita Garibaldi	0,98	0,98	0,00	0,01	0	100,00	0,05	0	100,00	0,05	0	100,00	1,09	0,98	10,09
Bocaina do Sul	0,42	0	100,00	0,01	0	100,00	0	0	---	0,01	0	100,00	0,44	0	100,00
Bom Retiro	1,14	0,8	29,82	0,06	0	100,00	0,05	0	100,00	0,04	0	100,00	1,29	0,8	37,98
Brunópolis	1,73	1,73	0,00	0,01	0	100,00	0,01	0	100,00	0,01	0	100,00	1,76	1,73	1,70
Campo Belo do Sul	1,28	1,28	0,00	0,01	0	100,00	0,06	0	100,00	0,04	0	100,00	1,39	1,28	7,91
Campos Novos	12,09	11,75	2,81	0,22	0	100,00	0,4	0	100,00	0,01	0	100,00	12,72	11,75	7,63
Capão Alto	0,09	0,09	0,00	0	0	---	0	0	---	0,01	0	100,00	0,1	0,09	10,00
Celso Ramos	0,68	0,68	0,00	0,01	0	100,00	0,01	0	100,00	0,01	0	100,00	0,71	0,68	4,23
Cerro Negro	0,56	0,56	0,00	0,01	0	100,00	---	---	---	---	---	---	0,57	0,56	1,75
Correia Pinto	1,04	0,64	38,46	0,02	0	100,00	0,31	0	100,00	0,16	0	100,00	1,53	0,64	58,17
Curitibanos	3,62	3,62	0,00	0,03	0	100,00	0,66	0	100,00	0,17	0	100,00	4,48	3,62	19,20
Fraiburgo	2,34	2,34	0,00	0,13	0	100,00	0,54	0	100,00	0,15	0	100,00	3,16	2,34	25,95
Frei Rogério	1,21	1,16	4,13	0,01	0	100,00	0,02	0	100,00	0,02	0	100,00	1,26	1,16	7,94
Lages	0,76	0,76	0,00	0,03	0,03	0,00	2,29	2,29	0,00	0,73	0,18	75,34	3,81	3,26	14,44
Lebon Regis	1,1	1,1	0,00	0,06	0	100,00	0,03	0	100,00	0,05	0	100,00	1,24	1,1	11,29
Monte Carlo	0,62	0,62	0,00	0	0	---	0	0	---	0,06	0	100,00	0,68	0,62	8,82
Otacílio Costa	0,54	0,54	0,00	0,01	0	100,00	0,29	0	100,00	0,06	0	100,00	0,9	0,54	40,00
Painel	0,14	0,14	0,00	0,01	0,01	0,00	0	0	---	0,01	0,01	0,00	0,16	0,16	0,00
Palmeira	0,2	0	100,00	0,01	0	100,00	0,02	0	100,00	0,01	0	100,00	0,24	0	100,00
Ponte Alta	0,52	0,52	0,00	0,09	0	100,00	0,03	0	100,00	0,02	0	100,00	0,66	0,52	21,21
Ponte Alta do Norte	0,07	0,07	0,00	0	0	---	0,06	0	100,00	0,01	0	100,00	0,14	0,07	50,00
Rio Rufino	0,28	0	100,00	0,01	0	100,00	0,2	0	100,00	0,01	0	100,00	0,5	0	100,00
Santa Cecília	0,56	0,56	0,00	0,01	0	100,00	0,38	0,19	50,00	0,06	0	100,00	1,01	0,75	25,74
São Cristóvão do Sul	0,28	0,28	0,00	0,01	0	100,00	0,13	0	100,00	0,04	0	100,00	0,46	0,28	39,13
São Jose do Cerrito	3,06	2,2	28,10	0,03	0	100,00	0,01	0	100,00	0,05	0	100,00	3,15	2,2	30,16
Urubici	0,32	0,29	9,38	0,01	0	100,00	0,2	0	100,00	0,05	0	100,00	0,58	0,29	50,00
Vargem	1,07	0	100,00	0,01	0	100,00	0,03	0	100,00	0,01	0	100,00	1,12	0	100,00

Tabela 39: Cenário de uso da água na bacia considerando garantias de abastecimento por tipo de uso e sub-bacia segundo disponibilidade do critério de outorga de 30% da vazão de referência Q(7,10).

Sub-Bacias	Consumo Agricultura			Consumo Animal			Consumo Industrial			Abastecimento Humano			Total		
	Dem. (m³/s)	Def. (m³/s)	Atend (%)	Dem. (m³/s)	Def. (m³/s)	Atend (%)	Dem. (m³/s)	Def. (m³/s)	Atend (%)	Dem. (m³/s)	Def. (m³/s)	Atend (%)	Dem. (m³/s)	Def. (m³/s)	Atend (%)
1	13,75	13,41	2,47	0,24	0	100,00	0,46	0	100,00	0,07	0	100,00	14,52	13,41	7,64
2	3,04	1,23	59,54	0,12	0	100,00	0,06	0	100,00	0,04	0	100,00	3,26	1,23	62,27
3	7,18	7,13	0,70	0,05	0	100,00	0,69	0	100,00	0,26	0	100,00	8,18	7,13	12,84
4	0,8	0,8	0,00	0,1	0	100,00	0,16	0	100,00	0,06	0	100,00	1,12	0,8	28,57
5	4	4	0,00	0,2	0	100,00	0,95	0,19	80,00	0,26	0	100,00	5,41	4,19	22,55
6	4,43	3,57	19,41	0,04	0	100,00	0,07	0	100,00	0,1	0	100,00	4,64	3,57	23,06
7	0,9	0,9	0,00	0,04	0,04	0,00	2,29	2,29	0,00	0,74	0,19	74,32	3,97	3,42	13,85
8	2,2	1,18	46,36	0,05	0	100,00	0,62	0	100,00	0,24	0	100,00	3,11	1,18	62,06
9	1,14	0,8	29,82	0,06	0	100,00	0,05	0	100,00	0,04	0	100,00	1,29	0,8	37,98
10	0,6	0,29	51,67	0,02	0	100,00	0,4	0	100,00	0,06	0	100,00	1,08	0,29	73,15

Tabela 40: Cenário de uso da água na bacia considerando garantias de abastecimento por tipo de uso e município segundo disponibilidade do critério de outorga de 90% da vazão de referência Q(95).

Municípios	Consumo Agricultura			Consumo Animal			Consumo Industrial			Abastecimento Humano			Total		
	Dem. (m³/s)	Def. (m³/s)	Atend (%)	Dem. (m³/s)	Def. (m³/s)	Atend (%)	Dem. (m³/s)	Def. (m³/s)	Atend (%)	Dem. (m³/s)	Def. (m³/s)	Atend (%)	Dem. (m³/s)	Def. (m³/s)	Atend (%)
Abdon Batista	0,89	0	100,00	0,01	0	100,00	0	0	---	0,01	0	100,00	0,91	0	100,00
Anita Garibaldi	0,98	0	100,00	0,01	0	100,00	0,05	0	100,00	0,05	0	100,00	1,09	0	100,00
Bocaina do Sul	0,42	0	100,00	0,01	0	100,00	0	0	---	0,01	0	100,00	0,44	0	100,00
Bom Retiro	1,14	0	100,00	0,06	0	100,00	0,05	0	100,00	0,04	0	100,00	1,29	0	100,00
Brunópolis	1,73	0	100,00	0,01	0	100,00	0,01	0	100,00	0,01	0	100,00	1,76	0	100,00
Campo Belo do Sul	1,28	0	100,00	0,01	0	100,00	0,06	0	100,00	0,04	0	100,00	1,39	0	100,00
Campos Novos	12,09	0	100,00	0,22	0	100,00	0,4	0	100,00	0,01	0	100,00	12,72	0	100,00
Capão Alto	0,09	0	100,00	0	0	---	0	0	---	0,01	0	100,00	0,10	0	100,00
Celso Ramos	0,68	0	100,00	0,01	0	100,00	0,01	0	100,00	0,01	0	100,00	0,71	0	100,00
Cerro Negro	0,56	0	100,00	0,01	0	100,00	---	---	---	---	---	---	0,57	0	100,00
Correia Pinto	1,04	0	100,00	0,02	0	100,00	0,31	0	100,00	0,16	0	100,00	1,53	0	100,00
Curitibanos	3,62	0	100,00	0,03	0	100,00	0,66	0	100,00	0,17	0	100,00	4,48	0	100,00
Fraiburgo	2,34	0	100,00	0,13	0	100,00	0,54	0	100,00	0,15	0	100,00	3,16	0	100,00
Frei Rogério	1,21	0	100,00	0,01	0	100,00	0,02	0	100,00	0,02	0	100,00	1,26	0	100,00
Lages	0,76	0	100,00	0,03	0	100,00	2,29	0	100,00	0,73	0	100,00	3,81	0	100,00
Lebon Regis	1,1	0	100,00	0,06	0	100,00	0,03	0	100,00	0,05	0	100,00	1,24	0	100,00
Monte Carlo	0,62	0	100,00	0	0	---	0	0	---	0,06	0	100,00	0,68	0	100,00
Otacílio Costa	0,54	0	100,00	0,01	0	100,00	0,29	0	100,00	0,06	0	100,00	0,90	0	100,00
Painel	0,14	0	100,00	0,01	0	100,00	0	0	---	0,01	0	100,00	0,16	0	100,00
Palmeira	0,2	0	100,00	0,01	0	100,00	0,02	0	100,00	0,01	0	100,00	0,24	0	100,00
Ponte Alta	0,52	0	100,00	0,09	0	100,00	0,03	0	100,00	0,02	0	100,00	0,66	0	100,00

Municípios	Consumo Agricultura			Consumo Animal			Consumo Industrial			Abastecimento Humano				Total	
	Dem. (m³/s)	Def. (m³/s)	Atend (%)	Dem. (m³/s)	Def. (m³/s)	Dem. (m³/s)	Def. (m³/s)	Atend (%)	Dem. (m³/s)	Def. (m³/s)	Dem. (m³/s)	Def. (m³/s)	Atend (%)	Dem. (m³/s)	Def. (m³/s)
Ponte Alta do Norte	0,07	0	100,00	0	0	---	0,06	0	100,00	0,01	0	100,00	0,14	0	100,00
Rio Rufino	0,28	0	100,00	0,01	0	100,00	0,2	0	100,00	0,01	0	100,00	0,50	0	100,00
Santa Cecília	0,56	0	100,00	0,01	0	100,00	0,38	0	100,00	0,06	0	100,00	1,01	0	100,00
São Cristóvão do Sul	0,28	0	100,00	0,01	0	100,00	0,13	0	100,00	0,04	0	100,00	0,46	0	100,00
São Jose do Cerrito	3,06	0	100,00	0,03	0	100,00	0,01	0	100,00	0,05	0	100,00	3,15	0	100,00
Urubici	0,32	0	100,00	0,01	0	100,00	0,2	0	100,00	0,05	0	100,00	0,58	0	100,00
Vargem	1,07	0	100,00	0,01	0	100,00	0,03	0	100,00	0,01	0	100,00	1,12	0	100,00

Tabela 41: Cenário de uso da água na bacia considerando garantias de abastecimento por tipo de uso e sub-bacia segundo disponibilidade do critério de outorga de 90% da vazão de referência Q(95).

Sub-Bacias	Consumo Agricultura			Consumo Animal			Consumo Industrial			Abastecimento Humano			Total		
	Dem. (m³/s)	Def. (m³/s)	Atend (%)	Dem. (m³/s)	Def. (m³/s)	Atend (%)	Dem. (m³/s)	Def. (m³/s)	Atend (%)	Dem. (m³/s)	Def. (m³/s)	Atend (%)	Dem. (m³/s)	Def. (m³/s)	Atend (%)
1	1,75	1,07	38,86	0,02	0,01	50,00	0,06	0,01	83,33	0,07	0,01	85,71	1,9	1,1	42,11
2	3,04	0	100,00	0,12	0	100,00	0,06	0	100,00	0,04	0	100,00	3,26	0	100,00
3	7,18	4,36	39,28	0,05	0	100,00	0,69	0	100,00	0,26	0	100,00	8,18	4,36	46,70
4	0,35	0	100,00	0,01	0	100,00	0,19	0	100,00	0,05	0	100,00	0,6	0	100,00
5	4	1,33	66,75	0,2	0	100,00	0,95	0	100,00	0,26	0	100,00	5,41	1,33	75,42
6	16,43	2,03	87,64	0,26	0	100,00	0,47	0	100,00	0,1	0	100,00	17,26	2,03	88,24
7	0,9	0,9	0,00	0,04	0	100,00	2,29	1,22	46,72	0,74	0	100,00	3,97	2,12	46,60
8	2,2	0	100,00	0,05	0	100,00	0,62	0	100,00	0,24	0	100,00	3,11	0	100,00
9	1,14	0	100,00	0,06	0	100,00	0,05	0	100,00	0,04	0	100,00	1,29	0	100,00
10	0,6	0	100,00	0,02	0	100,00	0,4	0	100,00	0,06	0	100,00	1,08	0	100,00

Tabela 42: Síntese da garantia de abastecimento de todas as demandas por Sub-bacia de análise, segundo critérios de outorga analisados.

Sub-Bacias	1. 100% Q(7,10)			2. 50% Q(7,10)			3. 30% Q(7,10)			4. 90% Q(95)		
	Dem. (m³/s)	Def. (m³/s)	Atend (%)	Dem. (m³/s)	Def. (m³/s)	Atend (%)	Dem. (m³/s)	Def. (m³/s)	Atend (%)	Dem. (m³/s)	Def. (m³/s)	Atend (%)
1	14,52	2,07	85,74	14,52	12,11	16,60	14,52	13,41	7,64	1,9	1,1	42,11
2	3,26	0	100,00	3,26	0,31	90,49	3,26	1,23	62,27	3,26	0	100,00
3	8,18	4,36	46,70	8,18	5,97	27,02	8,18	7,13	12,84	8,18	4,36	46,70
4	0,6	0	100,00	0,6	0,01	98,33	1,12	0,8	28,57	0,6	0	100,00
5	5,41	1,33	75,42	5,41	4	26,06	5,41	4,19	22,55	5,41	1,33	75,42
6	4,64	1,06	77,16	4,64	2,86	38,36	4,64	3,57	23,06	17,26	2,03	88,24
7	3,97	2,12	46,60	3,97	3,05	23,17	3,97	3,42	13,85	3,97	2,12	46,60
8	3,11	0	100,00	3,11	0	100,00	3,11	1,18	62,06	3,11	0	100,00
9	1,29	0	100,00	1,29	0,8	37,98	1,29	0,8	37,98	1,29	0	100,00
10	1,08	0	100,00	1,08	0,29	73,15	1,08	0,29	73,15	1,08	0	100,00

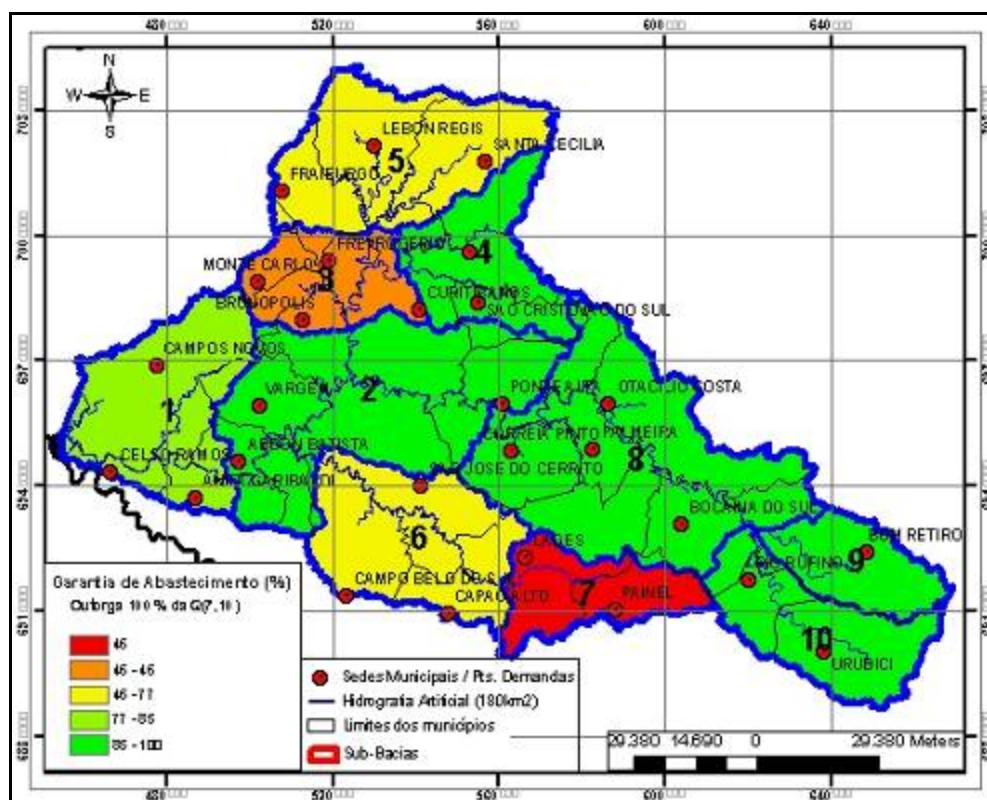


Figura 48: Resultado da simulação com rede de fluxo para avaliação da capacidade de abastecimento de todas as demandas por sub-bacias de controle na Bacia Hidrográfica do Rio Canoas, considerando o critério de outorga de 100 % da $Q(7,10)$.

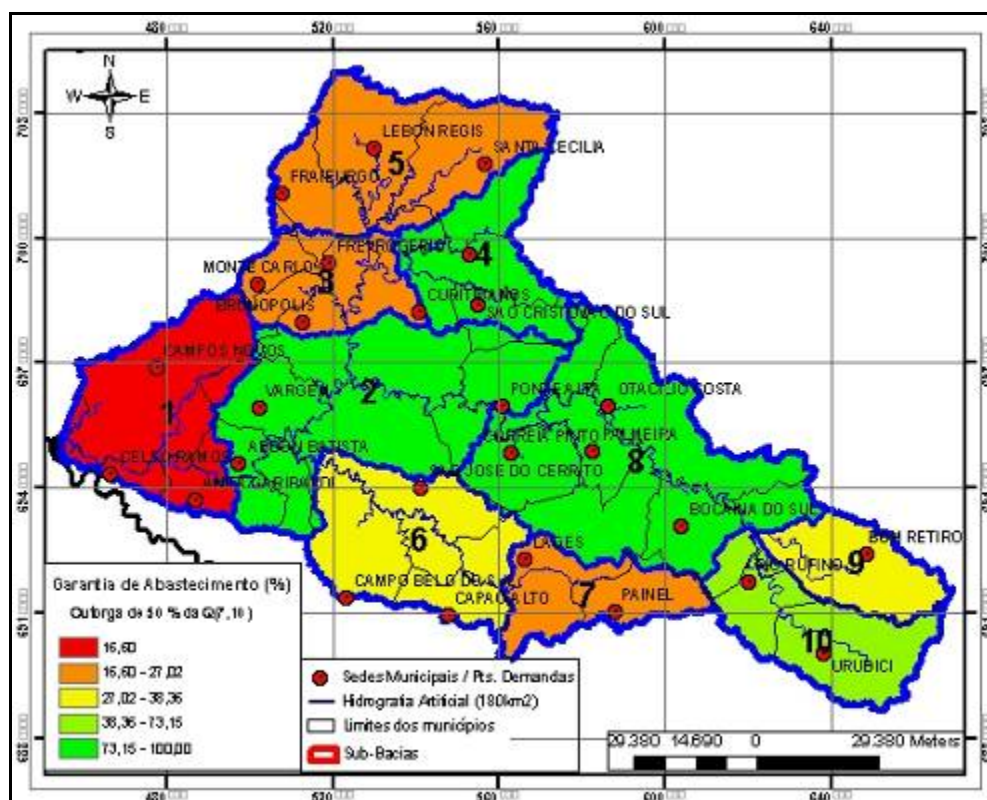


Figura 49: Resultado da simulação com rede de fluxo para avaliação da capacidade de abastecimento de todas as demandas por sub-bacias de controle na Bacia Hidrográfica do Rio Canoas, considerando o critério de outorga de 50 % da $Q(7,10)$.

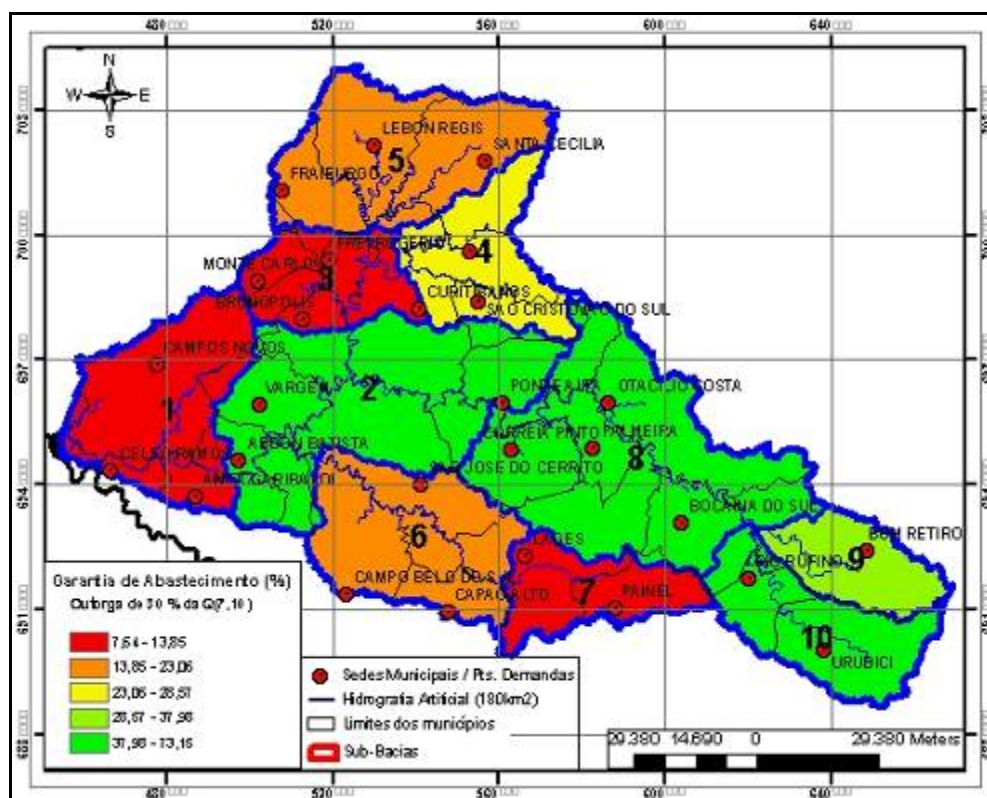


Figura 50: Resultado da simulação com rede de fluxo para avaliação da capacidade de abastecimento de todas as demandas por sub-bacias de controle na Bacia Hidrográfica do Rio Canoas, considerando o critério de outorga de 30 % da $Q(7,10)$.

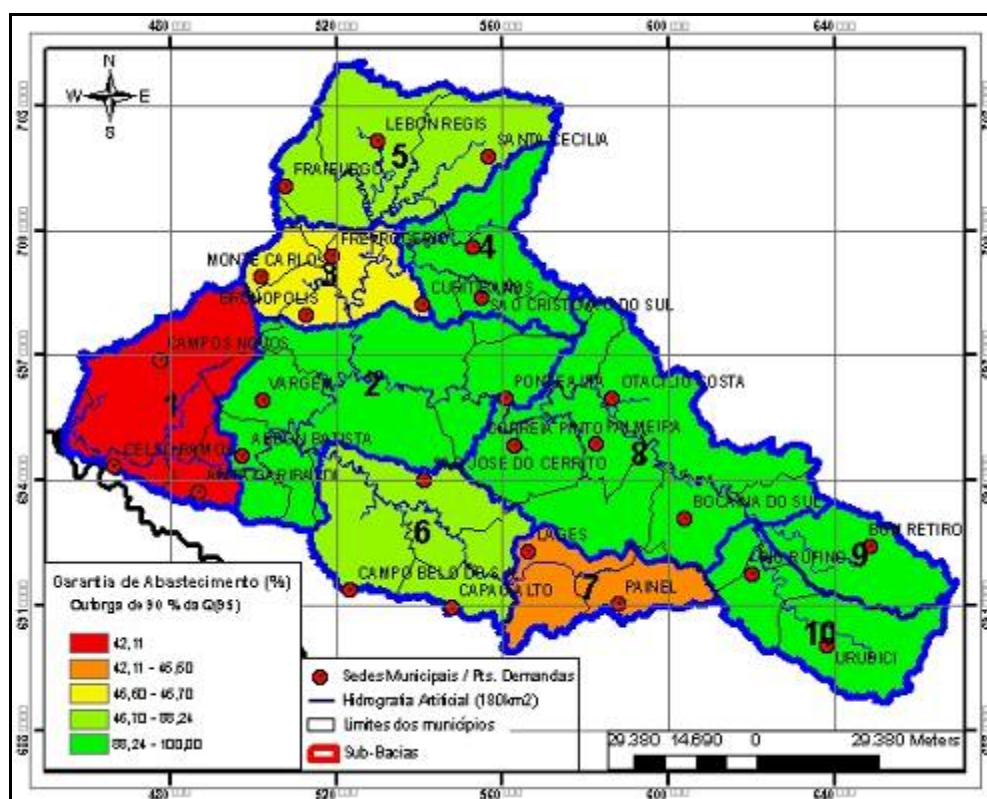


Figura 51: Resultado da simulação com rede de fluxo para avaliação da capacidade de abastecimento de todas as demandas por sub-bacias de controle na Bacia Hidrográfica do Rio Canoas, considerando o critério de outorga de 90 % da $Q(95)$.

Os cenários elaborados com os critérios de outorga de 100% da vazão de referência $Q(7,10)$ e 90% da $Q(95)$ foram os que resultaram em maior índice de garantia para atender as demandas estimadas nas sub-bacias. As sub-bacias 2, 4, 8, 9 e 10 tiveram suas demandas 100% atendidas segundo esses critérios. O critério mais restritivo, de 30% da $Q(7,10)$, não conseguiu atender completamente nenhuma das sub-bacias em análise, com destaque para os baixos índices de garantia nas bacias 1, 7 e 3.

O abastecimento humano foi 100% atendido em todos os municípios, considerando todos os critérios de outorga utilizados, à exceção do município de Paineira, onde a demanda humana não foi atendida utilizando o critério de outorga de 30% da $Q(7,10)$. O abastecimento animal também foi atendido em todas as sub-bacias à exceção da sub-bacia 7 considerando o critério de outorga de 30% da $Q(7,10)$.

4.3 Cenários de disponibilidade hídrica com o uso máximo dos critérios de outorga

Cenário 8: Atendimento às demandas nas sub-bacias hidrográficas de jusante considerando consumo máximo do critério de outorga.

Este cenário foi elaborado, simulando um uso máximo, de todo o volume de água outorgável nas seções de controle das sub-bacias, consideradas como nascentes do sistema. As sub-bacias de número 4, 5, 7, 9 e 10 foram simuladas com uso máximo de água, considerando o critério de outorga de 50 % da $Q(7,10)$.

A entrada de água no sistema considerou uma vazão de garantia de 95 % do tempo de recorrência $Q(95)$. A vazão ecológica considerada foi 100 % da $Q(7,10)$ no leito do rio com prioridade de atendimento máxima (1).

A Tabela 43 apresenta os resultados para a garantia de abastecimento segundo cada tipo de uso da água por município, comparando as demandas estimadas com a disponibilidade hídrica no ponto de captação. A Tabela 44 apresenta os resultados por sub-bacia considerada. A Figura 52 apresenta a garantia de abastecimento considerando a soma de todas as demandas e respectivas disponibilidades de água por sub-bacia de análise. A Tabela 45 apresenta a síntese das demandas e déficits por sub-bacia e o atendimento à vazão ecológica.

Tabela 43: Cenário de uso da água na bacia considerando garantias de abastecimento de 95 % de permanência, por tipo de uso e município, considerando o uso máximo do critério de outorga de 50% da vazão de referência Q(7,10) nas sub-bacias de entrada no sistema.

Municípios	Consumo Agricultura			Consumo Animal			Consumo Industrial			Abastecimento Humano			Total		
	Dem. (m³/s)	Def. (m³/s)	Atend (%)	Dem. (m³/s)	Def. (m³/s)	Atend (%)	Dem. (m³/s)	Def. (m³/s)	Atend (%)	Dem. (m³/s)	Def. (m³/s)	Atend (%)	Dem. (m³/s)	Def. (m³/s)	Atend (%)
Abdon Batista	0,89	0,62	30,34	0,01	0	100,00	0	0		0,01	0	100,00	0,91	0,62	31,87
Anita Garibaldi	0,98	0,22	77,55	0,01	0	100,00	0,05	0	100,00	0,05	0	100,00	1,09	0,22	79,82
Bocaina Do Sul	0,42	0,04	90,48	0,01	0	100,00	0	0		0,01	0	100,00	0,44	0,04	90,91
Brunopolis	1,73	1,73	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0	100,00	1,76	1,75	0,57
Campo Belo Do Sul	1,28	0,22	82,81	0,01	0	100,00	0,06	0	100,00	0,04	0	100,00	1,39	0,22	84,17
Campos Novos	12,09	12,09	0,00	0,22	0	100,00	0,4	0	100,00	0,01	0	100,00	12,72	12,09	4,95
Capao Alto	0,09	0,09	0,00	0	0		0	0		0,01	0	100,00	0,10	0,09	10,00
Celso Ramos	0,68	0,68	0,00	0,01	0		0,01	0		0,01	0	100,00	0,71	0,68	4,23
Cerro Negro	0,56	0	100,00	0,01	0	100,00							0,57	0	100,00
Correia Pinto	1,04	1,04	0,00	0,02	0	100,00	0,31	0		0,16	0		1,53	1,04	32,03
Curitibanos	3,62	3,62	0,00	0,03	0,03	0,00	0,66	0,66	0,00	0,17	0	100,00	4,48	4,31	3,79
Frei Rogerio	1,21	1,21	0,00	0,01	0,01	0,00	0,02	0,02	0,00	0,02	0	100,00	1,26	1,24	1,59
Monte Carlo	0,62	0,62	0,00	0	0		0	0		0,06	0	100,00	0,68	0,62	8,82
Otacilio Costa	0,54	0,54	0,00	0,01	0	100,00	0,29	0	100,00	0,06	0	100,00	0,90	0,54	40,00
Palmeira	0,2	0,2	0,00	0,01	0	100,00	0,02	0	100,00	0,01	0	100,00	0,24	0,2	16,67
Ponte Alta	0,52	0	100,00	0,09	0	100,00	0,03	0	100,00	0,02	0	100,00	0,66	0	100,00
Sao Jose Do Cerrito	3,06	3,06	0,00	0,03	0		0,01	0		0,05	0	100,00	3,15	3,06	2,86
Vargem	1,07	0	100,00	0,01	0	100,00	0,03	0	100,00	0,01	0	100,00	1,12	0	100,00

Tabela 44: Cenário de uso da água na bacia considerando garantias de abastecimento de 95 % de permanência, por tipo de uso e sub-bacia considerando o uso máximo do critério de outorga de 50% da vazão de referência Q(7,10) nas sub-bacias de entrada no sistema.

[illegible]

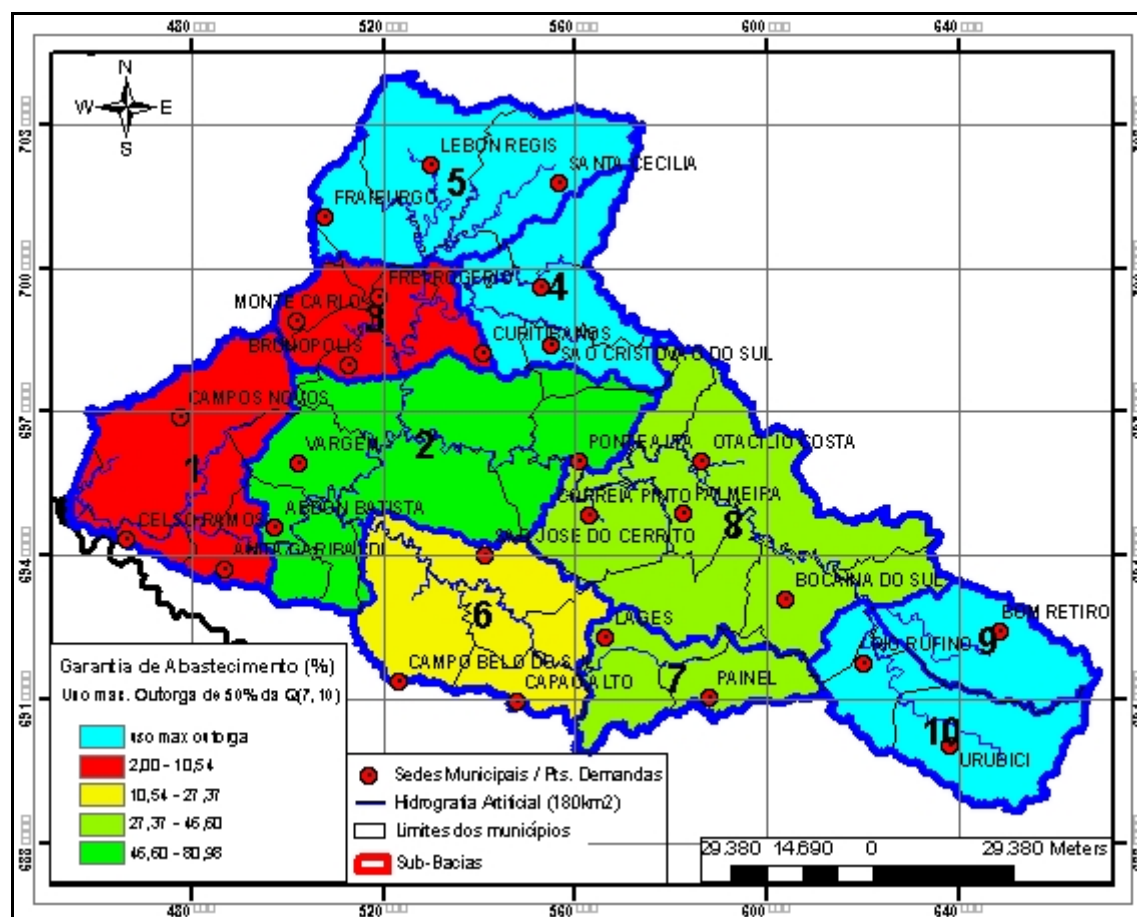


Figura 52: Resultado da simulação com rede de fluxo para avaliação da capacidade de abastecimento de todas as demandas por sub-bacias de controle na Bacia Hidrográfica do Rio Canoas, considerando o critério de outorga de 90 % da Q(95).

Tabela 45: Avaliação do impacto na garantia de abastecimento de água considerando a outorga máxima de 50% da Q(7,10) nas bacias de nascentes, considerando uma permanência de 95 % da vazão média calculadas pela Equação de Regionalização do IPH.

Sub Bacia	Usos da água		Vazão Ecológica		Q ent. Q(95) (m ³ /s)
	Cenário 2 Garantia(%)	Cenário 8 Garantia(%)	Cenário 2 Garantia(%)	Cenário 8 Garantia(%)	
1	10,33	10,54	100,00	100,00	5,22
2	84,05	80,98	100,00	100,00	9,03
3	21,39	3,55	100,00	98,83	2,75
4	41,67	---	100,00	89,47	3,45
5	26,06	---	100,00	91,69	5,79
6	31,25	27,37	100,00	100,00	5,06
7	18,64	---	98,38	88,65	2,56
8	98,07	41,48	100,00	100,00	10,00
9	48,06	---	100,00	88,34	2,25
10	97,22	---	100,00	40,38	3,71

Simulando o uso máximo de água disponível para a outorga, considerando um critério de 50% da vazão de referência Q(7,10), nas sub-bacias hidrográficas nove e dez, a sub-bacia de jusante, número oito, sofre uma redução da garantia de abastecimento de 98%

para 40% de suas demandas. Considerando o mesmo critério para as sub-bacias quatro e cinco, a sub-bacia três, de jusante, sofre uma redução na garantia de abastecimento de 21% para 12%. A sub-bacia seis, que fica a jusante da sub-bacia sete, sofreu uma redução pequena, de 31% para 27%. No entanto, as sub-bacias um e dois, que estão localizadas mais na jusante da bacia hidrográfica não foram impactadas pelo aumento da demanda nas sub-bacias de nascente.

A vazão ecológica de 100% da $Q(7,10)$ não é assegurada nas sub-bacias que utilizam como critério de outorga os 50% da $Q(7,10)$, neste caso, a quatro, cinco, nove, dez e sete. No entanto, as outras sub-bacias conseguem manter a vazão ecológica no leito do rio, devido ao critério de priorização máximo adotado. Fato este que reflete na diminuição da garantia de abastecimento das suas demandas de uso da água.

Considerando todos os cenários analisados, o município que apresentou maior comprometimento de disponibilidade de água foi o de Lages e consequentemente, a sub-bacia com o abastecimento mais comprometido foi a Sub-bacia 7, seguida pela Sub-bacia 3. As sub-bacias 4, 5, 8, 9 e 10 apresentaram situações mais confortáveis com relação aos índices de garantia de abastecimento e critérios de outorga.

Essas considerações estão baseadas em estimativas que representam um cenário pessimista de consumo e disponibilidade de água na bacia, uma vez que as demandas de água foram superestimadas e os retornos de água para o sistema hídrico não foram considerados.

No entanto, o Governo de Santa Catarina, em seu Relatório Técnico de Panorama dos Recursos Hídricos no Estado de Santa Catarina (ENGEORPS *et al*, 2006), através da aplicação de um *índice de sustentabilidade*, encontrou um valor de sustentabilidade vulnerável no que diz respeito à disponibilidade e qualidade de água para a Bacia Hidrográfica do Rio Canoas, o que, de certa forma, corrobora as considerações tecidas com os resultados do estudo.

Seguindo as propostas delineadas por Ferreira (2005), para o aprimoramento e a aplicação de um sistema de suporte à decisão para a Bacia Hidrográfica do Rio Canoas, conseguiu-se atingir o objetivo de estabelecer um marco inicial para demonstrar as potencialidades do desenvolvimento de modelos de suporte a decisão aplicados ao instrumento de outorga quantitativa de água.

Para a implementação de um sistema de suporte à decisão que contribua efetivamente para o processo de gestão social da água na bacia hidrográfica, o próximo passo é o desenvolvimento conjunto de um sistema de suporte a decisão junto com a comunidade local,

através da utilização de uma interface gráfica amigável, segundo o proposto por (FERREIRA, BROWNING E VALDES, 2005).

Com o objetivo de contribuir para o processo de gestão social de bacias hidrográficas, segundo proposto por Silva (2005), o desenvolvimento de um sistema de suporte a decisão deve ainda ser mais participativo e amigável, no intuito de diminuir os espaços vazios existentes entre as técnicas de gestão integrada de bacias hidrográficas e as comunidades usuárias de água na bacia.

Browning e Richter (2006) mostram a necessidade da participação social desde o primeiro momento de criação, concepção e desenvolvimento do modelo, assim como a necessidade da retroalimentação das informações dos usuários e dos técnicos envolvidos no processo.

5 CONCLUSÕES

Neste trabalho foram estudados critérios de outorga e elaborados cenários de uso da água para a Bacia Hidrográfica do Rio Canoas utilizando um modelo de rede de fluxo para o suporte a decisão, gerando subsídios ao processo de gestão social da água.

O instrumento de outorga de uso da água, ao gerenciar a disponibilidade hídrica, representa o mecanismo de controle e organização do uso da água na bacia hidrográfica, influenciando diretamente no seu balanço hídrico. A disponibilidade de água para os diferentes usuários está diretamente relacionada ao bem estar social, ambiental e econômico da bacia hidrográfica, demandando uma ampla participação social no processo de gestão participativa das águas.

A elaboração de cenários de uso da água para a Bacia Hidrográfica do Rio Canoas permitiu avaliar a disponibilidade hídrica da bacia hidrográfica, possibilitou estudar critérios de outorga e avaliar garantias de abastecimento de água, segundo o tipo de uso e o município. A simulação de uso da água na bacia permitiu avaliar impactos do aumento das demandas no atendimento aos usos atuais.

Os cenários de uso da água gerados representam uma base sólida para subsidiar o processo de gestão social da água na Bacia Hidrográfica do Rio Canoas com informações relevantes e em formato pedagógico, para permitir o empoderamento de comunidades para a sua participação no processo de gerenciamento da outorga de água na bacia

Foi demonstrada a potencialidade do uso de um modelo de suporte a decisão para subsidiar a tomada de decisão pelos diversos atores envolvidos na gestão participativa das águas da bacia hidrográfica, através da construção de cenários para simular escolhas, critérios e referências no planejamento do uso da água, de forma pedagógica e direcionada a gestão social da água.

A utilização do Programa *Aquanet (modelo de rede de fluxo)* se mostrou adequada para a simulação de cenários de uso da água e o estudo de critérios de outorga para a realidade da Bacia Hidrográfica do Rio Canoas. Os cenários elaborados demonstraram o potencial de utilização deste modelo para a gestão social da água na bacia considerada e, também, por extensão, em outras bacias hidrográficas nacionais, consideradas as singularidades próprias.

A maior limitação da pesquisa no nível de implantação do modelo à Bacia Hidrográfica do Rio Canoas foi a dificuldade de adquirir informações sobre as características básicas da bacia hidrográfica, incluindo informações hidrológicas, hidrográficas, ambientais, de demandas de água e os usos de água na bacia hidrográfica.

Recomendações

- Implementar o modelo de qualidade da água para o sistema de gerenciamento da outorga de lançamento de efluentes para a Bacia Hidrográfica do Rio Canoas, dentro do sistema de suporte de decisões, através do módulo já desenvolvido no AcquaNet.
- Implementar o modelo de balanço hídrico e demanda de água para agricultura já desenvolvido no modelo AcquaNet para aprimorar as estimativas de demanda de água para uso agrícola.
- Desenvolver um aplicativo *online* para consulta dos dados hidrológicos e descarga do modelo desenvolvido.
- Desenvolver uma ferramenta GIS para integração do modelo de suporte a decisão e aplicativos em SIG que permitam a consulta e geração de arquivos automatizada de novos usuários.
- Elaborar séries sintéticas através de métodos estocásticos para simulação de cenários futuros para análise de critérios de outorga e de sustentabilidade do uso da água na bacia hidrográfica.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA. ELÉTRICA. **Sistema de informações georreferenciadas de energia e hidrologia: HIDROGEO**. Brasília: ANEEL, 2000. CD-ROM.

AGENCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **The evolution of water resources management in Brazil**. Brasília: ANA, 2002.

AGENCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Planilha de determinação das necessidades de água para irrigação – finalidade outorga, Disponível em:
<www.ana.gov.br/gestaoRecHidricos/Outorga/docs/InstrucoesPreenchimentoPlanilha.doc>.
Acesso em: 05 jan 2007.

ANDREU, J.; CAPILLA, J. e SANCHIS E. AQUATOOL: generalized decision-support system for water-resources planning and operational management. **Journal of Hydrology**, Reino Unido, v. 177, n. 3-4, p.269-291, 1996.

AQUATOOL System part 1.21p . Espanha . Disponível em :
<[http:// www.upv.es/aquatool/en/software_D.htm](http://www.upv.es/aquatool/en/software_D.htm)>. Acesso em: 01 set. 2006.

ARAÚJO, M. **Monitoramento da Qualidade da Água como Instrumento de Controle Ambiental e Gerenciamento de Recursos Hídricos no Estado de Pernambuco**: relatório técnico 2. Recife: Secretaria de Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco, 2002.

ARNEZ, F. A. **Análise de critérios de outorga do uso da água na bacia do rio Santa Maria, RS**. 2002. Dissertação (Mestrado em recursos hídricos e saneamento ambiental). Programa de Pós Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

AZEVEDO, L. G. T. et al Integration of water quantity and quality in strategic river basin planning. **Journal of Water Resources Planning and Management**, USA, v. 126, n. 2, p. 85-97, mar./abr.2000.

AZEVEDO, L. G. T.; PORTO, R. L. L.; PORTO, M. Sistema de apoio à decisão para o gerenciamento integrado de quantidade e qualidade da água: metodologia e estudo de caso. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 3, n. 1, p. 21-51, jan./mar.1998.

BARTH, F. T. et al. **Modelos para gerenciamento de recursos hídricos**. São Paulo: Nobel: ABRH, 1997 (coleção ABRH de recursos hídricos).

BRAGA, B.; BARBOSA, P. S.; NAKAYAMA, P. T. Sistemas de suporte a decisão em recursos hídricos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 3, n. 3, p. 73-95, jul./set.1998.

BANCO MUNDIAL. (Brasil) **Sistemas de suporte a decisão para a outorga de direitos de uso da água no Brasil**. Brasília, 2003. (Série Água Brasil, 2)

BRASIL. Código de Águas: decreto nº 24.643, de julho de 1934. **Lex**: Série Legislação. 2. ed. Bauru: EDIPRO, 1996.

BRASIL. Lei Federal nº. 9.433, de 8 de Janeiro de 1997. **Lex**: Coletânea Legislação sobre Recursos Hídricos. Florianópolis: Secretaria de Estado e Desenvolvimento urbano e Meio Ambiente, 2001.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Documento Base de Discussão do Plano Nacional de Recursos Hídricos Dezembro de 2002**. Disponível em: <<http://pnrh.cnrh-srh.gov.br>>. Acesso em: 12 nov. 2003.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos. **Plano nacional de recursos hídricos**. Brasília: SRH, 2006. 5v.

BROWNING-AIKEN, A., PABLOS, N. P., WILDER, M. **Fuera del paraíso**: cambio institucional y manejo urbano del agua en Cananea, Sonora, Tucson: University of Arizona, 2006.

BROWNING-AIKEN, A et al. **Climate, Water Management, and Policy in the San Pedro Basin**: results of a survey of Mexican Stakeholders near the U.S.-Mexico Border. Tucson: University of Arizona, 2006.

BROWNING-AIKEN, A et al. **La Cuenca Binacional Piloto del San Pedro**: usando un modelo de ayuda a la toma de decisiones para demostrar funciones de ecosistema y asesoramiento en agua, para el monitoreo planeamiento y gestión transfronteriza integral. Tucson: University of Arizona, 2006.

BROWNING-AIKEN, A. et al. The Upper San Pedro Basin: Fostering Collaborative Binational Watershed Management. **International Journal of Water Resources Development**, Estados Unidos, 2006.

CALLADO Ricardo. A **Utilização do geoprocessamento para determinação de unidades ecodinâmicas**: subsídios ao planejamento ambiental. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária). - Programa de Pós-Grad. em Eng. Ambiental – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

CAMPOS, J. L. **Grande e novíssimo dicionário da Língua Portuguesa**. Rio de Janeiro: [s.l.], 1940.

CAMPOS, N.; SUDART, T (Ed). **Gestão das águas**: princípios e práticas. 2. ed. Porto Alegre: ABRH, 2003. 242p.

CARVALHO, M. A. **Sistema de Suporte a Decisão para alocação de água em projetos de irrigação**. 2003. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

CANADA. .Ministère de l'Environnement. **Québec Water Policy. Water. Our Life. Our future**. Quebec: Ministère de l'Environnement's information centre, 2006.

CENTRO DE EXPERIMENTACIÓN Y OBRAS PUBLICAS. **Calculo Hidrometereologico de Aportaciones y Crecidas CHAC**: manual del Usuário. Madrid: Centro de publicaciones del CEDEX, 2004.

CHAPARRO, J. R. **Evaluacion de la demanda agrária**: apostila del curso del master en hidrologia general y aplicada. Madrid: Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX, 2006

CHAVES, H. M. L et al. Regionalização de vazões mínimas em bacias através de interpolação em sistemas de informação geográfica. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 7, n. 3, p. 43-51, jul./set.2002.

CHERET, I. L'eau, cet element domestique. **Hydroplus**, Paris, 12, Aout-Setembre. 2001.

CHRISTOFIDIS, D. A expansão da consciência humana com a memória e as mensagens da água. **Jornal de Brasília**, Brasília, 2002.

_____. Estudo demonstra que a água reflete sentimentos. **Jornal de Brasília**, Brasília, 23 jul. 2002.

DAI, T.; LABADIE, J. W. River basin network model for integrated water quantity and quality management. **Journal of Water Resources Planning and Management**, USA, v.127, n.5, p.295-305, set./ out. 2001.

DESCARTES, R. **Discurso sobre o método**. São Paulo: Hemus Editora, 1978.

DHI Software: MIKEBASIN User Guide and Tutorial. DHI Water and Environment Press, Denmark, 2006. CD ROM.

DIAMOND, J. **Colapso: como as sociedades escolhem o fracasso ou o sucesso**. 2. ed. Rio de Janeiro: Record, 2005

DJOKIC, D., YE, Z.; MILLER, A. **Efficient watershed delineation using Arcview and Spatial analyst**. In: INTERNATIONAL ESRI CONFERENCE, 17, 1997. **Proceedings...**California: Environmental Systems Research Institute, 1997.

DUFLOTH, J. H.; et al. (Org.) **Estudos básicos regionais de Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, 2005. CD-ROM.

ESTRELA, T. **Modelos Matemáticos para la evaluación de recursos hídricos**. Madrid: Ministério de Obras Publicas y Transportes: Centro de Estudios y Experimentación de Obras Publicas, 1992. (Série Monografias).

EPAGRI. **Mapoteca Topográfica Digital de Santa Catarina**. 2006. Disponível em: http://ciram.epagri.rct-sc.br/ciram/comum/produtos/mapoteca_digital/index.jsp Acesso em: 15 de abril de 2006.

ENGEORPS; TETRPLAN; LACAZ MARTINS. Estudos dos Instrumentos de Gestão de Recursos Hídricos para o Estado de Santa Catarina e apoio para sua implementação. Relatório Temático 02: Sistema de Outorga de Direito de uso dos recursos hídricos no Estado de Santa Catarina. [s.l.]: [s.n.], 2006.

ENGEORPS, TETRPLAN e LACAZ MARTINS. Estudos dos Instrumentos de Gestão de Recursos Hídricos para o Estado de Santa Catarina e apoio para sua implementação. Regionalização de Vazões das Bacias Hidrográficas do Estado de Santa Catarina, Volume 1 Texto. Governo do Estado de Santa Catarina. 2006.

ENGEORPS, TETRPLAN e LACAZ MARTINS. Estudos dos Instrumentos de Gestão de Recursos Hídricos para o Estado de Santa Catarina e apoio para sua implementação.

Panorama dos Recursos Hídricos no Estado de Santa Catarina. Governo do Estado de Santa Catarina. 2006.

EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY. **Europe's environment: the second assessment.** Bruxelas: [s.n.], 1998.

FERRAZ, A. R. G.; BRAGA, B. P. F. Modelo decisório para outorga de direito ao uso da água no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 3, n. 1, p. 5-19, jan./mar.1998.

FERREIRA, C. M. Application of a Decision Support System for the Implementation of the Legal Instrument of Water Use Permits: an Attempt to improve Public Knowledge and Participation in Water Resources Management within the Canoas River Basin, Brazil. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON INTEGRATED WATER RESOURCES MANAGEMENT, 3., 2006, Germany. **Proceedings...**Germany: Ruhr University Bochum, September 2006.

FERREIRA, C. M. Estudo de modelos de gestão de recursos hídricos para o instrumento de outorga de direito de uso – abordagem preliminar estudo de caso: Bacia Hidrográfica do Rio Canoas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 16, 2005, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2005.

FERREIRA, C. M. , BROWNING, A. , VALDES, J. SAHRA and UDALL Center Internship: Applying Binational Experiences and Technology to Improve Brazilian Water Management in a Social Context. In: SAHRA ANNUAL MEETING, 6, 2005, Tucson. **Proceedings...** Tucson: [s.l.], 2005.

FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION. **Las necesidades de agua de los cultivos.** Roma: [s.l.], 1976. (Estudio FAO: Riego y Drenaje n. 24)

FREDERICKS, J. W.; LABADIE, J. W.; ALTENHOFEN, J. M. Decision support system for conjunctive stream-aquifer management. **Journal of Water Resources Planning and Management**, USA, v.124, n.2, p .69-78. mar/apr. 1998.

FREITAS, M. A (org). **Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos.** 3. ed. Brasília: ANA: ANNEL, 2001.

FREITAS, M.A.V. (Ed). **O Estado das águas no Brasil:** perspectivas de gestão e informação de recursos hídricos. Brasília: ANNEL: SIH: MMA: SRH: MME, 1999

GALVAO, C. O.; VALENCA, M. J. S (org); **Sistemas inteligentes**: aplicações a recursos hídricos e ciências ambientais. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 1999. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos, 7).

GENOVEZ, A.B. Vazões máximas. In: PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E. M.C.D. (Orgs.). **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2001. p. 33-112.

GIBBENS.G; GOODMAN, J. **Integration of GIS and river basin network flow modsim**: case study: wind river irrigation project, Wyoming. Colorado: Colorado State University, may 2002.

GRAHAM, L. P, et al. Allocation of augmented water supply under a priority water rights system. **Water Resources Research**, Estados Unidos, v. 22, n. 7, p. 1083-1094, jul.1986.

GRANZIERA, M. L. M. **Direito de águas**: disciplina jurídica das águas doces. São Paulo: Atlas, 2001.

GUPTA, V. K.; SOROOSHIAN, Z. The automatic calibration of conceptual catchments models using derivative-based optimization algorithms. **Water Resources Research**, Estados Unidos, v. 21, n. 4, p. 473-485, abr. 1985.

HIDROWEB Sistema de Informações Hidrológicas. [s.l.]: ANA 2006. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br>>. Acesso em: 15 de fevereiro de 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo demográfico e resultados do universo**. Brasília, 2000.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICAS. Diretoria de Geociências. **Indicadores de desenvolvimento sustentável**: Brasil 2002. Rio de Janeiro, 2002, 195p. (Estudos e Pesquisas, Informação Geográfica, n.2).

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. Portaria Administrativa nº 010/98, Diário Oficial de Minas Gerais, 1998.

INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS. **Estudo de Regionalização de vazões para a Bacia do Rio Uruguai**: relatório técnico. Porto Alegre: UFRGS, 2001.

ISRAEL, M.; LUND, J.R. Priority Preserving Unit Penalties in Network Flow Modeling,

Journal of Water Resources Planning and Management, USA, v. 125, n. 5, p. 67-68. Jan/Feb. 2001.

JENSEN, S. K. Applications of hydrologic information automatically extracted from digital elevations models. **Hydrologic Processes**, Estados Unidos, v. 5, n. 1, 1991.

JENSEN, S. K.; DOMINIQUE, J. O. Extracting Topography structure from digital elevation data for geography information systems analyses. **Photogrametric Engineering and Remote Sensing**, Estados Unidos, v. 54, n. 11, 1998.

KUHN, T. S. **A Estrutura das revoluções científica**. 3. ed. São Paulo: Perspectiva, 1962.

KEPNER W.G. et al. Scenario Analysis for the San Pedro River, Analyzing Hydrological Consequences of a Future Environment. **Environmental Monitoring and Assessment**, Estados Unidos, v. 94, n. 1-3, April 2002.

LABADIE, J. **Generalized duality theory and network flow optimization**. Colorado: Colorado State University, 1993. p.1-16.

LABADIE, J. W. Optimal operation of multireservoir systems: state-of-the-art review. **Journal of Water Resources Planning and Management**, USA, v.130, n. 2, p.93-111, 2004.

LABSID. Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões. Disponível em <<http://www.phd.poli.usp.br/labsid>>. Acesso em: 14 out. 2006.

LIER, Ivan, Q.J. Índices de disponibilidade de água para as plantas. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V.V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R. (Ed.) **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p. 95-106.

LINSLEY, R. K; FRANZINI, J. B. **Engenharia de recursos hídricos**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil: Ed. Universidade de São Paulo, 1978.

LISBOA, M. H. **Apostila do curso de hidrologia e climatologia**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2001. Notas de aula.

LOCH, R. E. N. **Cartografia**: representação, comunicação e visualização de dados espaciais. Florianópolis: UFSC, 2006.

LONGLEY, P.A et al. **Geographic information systems and science**. 2nd edition. England: Jonh Wiley & Sons, 2005.

LOPES, A. V.; FREITAS, M. A. S. Avaliação das demandas e ofertas hídricas na bacia do Rio São Francisco usando modelo de rede de fluxo. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO SUL-SUDESTE, **Anais...**Curitiba: ABRH, 2006.

LUND, J. R.; GUZMAN, J. Derived operating rules for reservoirs in series or in parallel. **Journal of Water Resources Planning and Management**, USA, v. 125, n. 3, p. 143-153, may./jun.1999.

MAGUIRE. D.J; BATTY. M; GOODCHILD, M. F. (Ed.) **GIS, spatial analysis and modeling**. Califórnia: ESRI Press, 2005.

MAIDMENT, D.R (Ed). **Arc Hydro: GIS for water resources**. Califórnia: ESRI Press, 2002.

_____. **Handbook of hydrology**. New York: McGraw-Hill, Inc, 1993.

MAIDMENT, D.R; Djokic, D. **Hydrologic and hidraulic modeling support: with geographic information systems**. Califórnia: ESRI Press, 2000.

MARIN, E. M. **Hidrologia practica**. 2. ed. Spain: Rugart, 2005. (Colección Escuelas).

MAS. F. M. **Caudales ecológicos: conceptos, métodos e interpretaciones**. Madrid: Ministério de Fomento de Médio Ambiente: Centro de Estudos y Experimentación de Obras Publicas, 2005. (Série Monografias).

MCKINNEY, D. C.; CAI, Linking. GIS and resources management models: an objectoriented. **Environmental Modelling & Software**, p. 1-13, fev.2002.

MENDES, C. A. B. Integração de modelos hidrológicos e sistemas de informação geográfica: fundamentos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 1 n. 1, p. 47-66, jan./jul.1996.

MENDONCA, A. S. Balanço Hídrico. In: PAIVA, J. B. D. (Org). **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas**. Porto Alegre: ABRH/FINEP, 2003. p.165. cap. 6.

MINISTÈRE DE L'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE ET DE L'ENVIRONNEMENT.

Water Management In France. Paris: Agences De L'eau, 2003.

MODSIM. <[ftp://modsim.engr.colostate.edu/CE/cd/modsim/Documentation/modsim_intro.pdf](http://modsim.engr.colostate.edu/CE/cd/modsim/Documentation/modsim_intro.pdf)>. Acesso em 11 de outubro 2006.

NANDALAL, K. D. W.; SIMONOVIC, S. P. Resolving conflicts in water sharing: a systemic approach. **Water Resources Research**, Estados Unidos, v. 39, n. 12, p. 01-11, dez. 2003.

OLIVERA, F. Extracting Hydrologic Information from Spatial Data for HMS Modeling. **Journal of Hydrologic Engineering**, Estados Unidos, vol 6, n. 6, November / December 2001.

_____. GIS Tools for HMS Modeling Support. In: MAIDMENT, D.R (Ed) **Hydrologic and hydraulic modeling support**: with geographic information systems. Califórnia: ESRI Press, 2000.

OLIVERA, F. et al. Drainage Systems. In: MAIDMENT, D.R (Ed). **Arc Hydro: GIS for water resources**. Califórnia: ESRI Press, 2002.

ONO, S; BARROS, M.T.L; CONRADO, G.N. A utilização de SIG no planejamento e gestão de bacias urbanas. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO SUL-SUDESTE, 2006, Curitiba. **Anais...** Curitiba: ABRH, 2006. p. xxx-xxx. Livro de Resumos

PAIVA, J. B et al. Quantificação da demanda de água na Bacia do Rio Ibicuí/RS. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 5, n. 3, p. 93-111, jul./set.2000.

PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E. M. C. D. (Org). **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas**. Porto Alegre: ABRH/FINEP, 2003.

PALAVIZINI, Roseane Simões. **Gestão Transdisciplinar do Ambiente**. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

PANDOLFO, C; et al. **Atlas climatológico digital do Estado de Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, 2002. CD-Rom.

PARIS. Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement. Agences de L'Éau. **Chémas directeurs d'aménagement et de gestion des eaux SDAGE**. France: Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement, 2002.

PARIS. Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement. Agences de L'Eau. **Water Management in France**. France: Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement, 2003.

PORTO, R. L. L. (org). **Técnicas quantitativas para o gerenciamento de recursos hídricos**. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS: ABRH, 2002.

PORTO, R. L. L. Sistema de suporte a decisão para análise de sistemas de recursos hídricos. In: SILVA, R. C. V. (Ed.) **Métodos numéricos em recursos hídricos**. Porto Alegre: ABRH, 2003.

PORTO, R.L.L. e AZEVEDO, L.G.T. Sistemas de suporte a decisão aplicados a problemas de recursos hídricos. In: PORTO, R.L.L. (Org) **Técnicas quantitativas para o gerenciamento de recursos hídricos**. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS: ABRH, 2002. p.43-95.

PORTO, R. L. L.; MELLO, A. V.; ROBERTO, A., N. Plataforma generalizada para análise de outorga para captação de água e para lançamentos de efluentes. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO SUL-SUDESTE, **Anais...** Curitiba: ABRH, 2006

POSTEL S. Rivers of Life: the challenge of restoring health to fresh water ecosystems. **Water Science and Technology**, Estados Unidos, v. 45, n.11, p. 3-8, 2001.

POWERSIM. Help For Powersim Studio Express 2001. Disponível em : <<http://www.powersim.com/techology/express.asp>>. Acesso: em 24 de outubro 2006.

REBOUÇAS, A. C et al. Água doce no mundo e no Brasil. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (Org). **Águas doces no Brasil**: capital ecológico, uso e conservação. São Paulo: Escrituras, 1999.

REBOUÇAS, A. C et al. Água na agricultura e pecuária. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (Org). **Águas doces no Brasil**: capital ecológico, uso e conservação. São Paulo: Escrituras, 1999.

RIBEIRO, M. M. R.; LANNA, A. E. L. A outorga integrada das vazões de captação e diluição. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 8 n. 3 p. 151-168, jul./set. 2003.

RICHTER, H. E. Participatory Learning on the San Pedro: Designing the Crystal Ball Together. **Southwest Hydrology Magazine**. Tucson, v. 5, n. 4, July/ Aug. 2006.

ROBERTO, A. N., PORTO, R. L. L. Alocação de água entre múltiplos usos em uma bacia hidrográfica. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO SUL-SUDESTE, 2006, Curitiba. **Anais...**Curitiba:ABRH, 2006

ROCHA C. L. et al. **Recursos Hídricos**: conceitos, desafios e capacitação. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, 1999.

ROCHA, C. L. **Outorga de direito de uso da água em Alagoas**. 2002. Dissertação (Mestrado da Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

RODRIGUEZ, R. G. et al. Vazões Consumidas pela irrigação e pelos abastecimentos animal e humano (urbano e rural) na bacia do Paracatu no período de 1970 a 1996. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, cidade, v. 11, n. 3, p. 223-16233, jul./set.2006.

SCHVARTZMAN, A.S.; NASCIMENTO, N.O.; SPERLING, M. V. Outorga e cobrança pelo uso de recursos hídricos: aplicação a Bacia do Rio Paraopeba, MG. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 7, n. 1, p. 103-122, jan./mar. 2002.

SANTA CATARINA. Secretaria de Estado e Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente - SDM/SC. **Bacias Hidrográficas de Santa Catarina**: diagnóstico geral. Florianópolis: SDM, 1997. 163p.

SANTA CATARINA. Secretaria de Desenvolvimento Regional – SDR/SC. **Estudos de Caracterização Regional**. Florianópolis: SDR, 2006.

SANTA CATARINA. **Zoneamento Agroecológico e Socioeconômico de Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, 1999. CD-Rom.

SANTA CATARINA. Secretaria de Estado e Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente - SDM/SC. **Mapa das Regiões Hidrográficas de Santa Catarina**:. Florianópolis: SDM, 2000. Escala 1:500.000.

SANTA CATARINA. Gabinete de planejamento e coordenação geral.. **Atlas de Santa Catarina**. Rio de Janeiro: Aerofoto Cruzeiro, 1986.

SANTA CATARINA. Lei 9.748, de 30 de novembro de 1994. Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos,. **Lex**: Coletânea Legislação sobre Recursos Hídricos. Florianópolis: Secretaria de Estado e Desenvolvimento urbano e Meio Ambiente, 2001.

SANTA CATARINA. Projeto de Lei 0292.5/2004. Dispõe sobre a política estadual de recursos hídricos, a instituição, estruturação e organização do sistema estadual de gerenciamento de recursos hídricos e adota outras providências, Florianópolis, 2004.

SANTA CATARINA. Decreto Estadual n 4.778 de 11 de outubro de 2006. Florianópolis: Imprensa Oficial, 2006.

SANTA CATARINA. Portaria SDS N.25/2006. (ementa) Florianópolis: Imprensa Oficial, 2006.

SANTA CATARINA. Portaria SDS N.35/2006. (ementa) Florianópolis: Imprensa Oficial, 2006.

SHANNON, T. et al. **Integration of GIS and river basin network flow modsim**. Colorado: Colorado State University, 2004.

SILVA, D. D; PRUSKI, F. F. **Gestão de recursos hídricos**: aspectos legais, econômicos, administrativos e sociais. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa; Porto Alegre: ABRH, 2005. 659 p.

SILVA, D. J. Enjeux de la gestion sociale de l'eau: Un peu de l'expérience brésilienne. Le developpement durable:quels porgrés, quels outils, quelle formation?. Collection ACTES 6. Les publications de l'IEPF, Chicoutimi, mai 2005

_____.El Agua como un bien público y sus implicaciones en la gestión social de cuencas. In: FORO INTERNAICONAL DE GESTION DE CUENCAS, 2, 2004, México. **Anais...** México: Universidad de Sonora, 2004.

_____. **Uma abordagem cognitiva ao planejamento estratégico do desenvolvimento sustentável**. 1998. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.

_____. **Desafios para a Gestão Social da Água um Pouco da Experiência Brasileira**. Florianópolis, 2005. No prelo.

_____. **O espírito da lei brasileira das águas: lei nº 9.433/97**. Florianópolis, 2005. No prelo.

_____. O Método da Educação Ambiental, In: PHILIPPI, Arlindo; FOCESI, Maria Cecília (Ed). **Educação Ambiental: desenvolvimento de cursos e projetos**, São Paulo: USP: Signus, 2000.

_____. O Paradigma Transdisciplinar: uma perspectiva metodológica para a pesquisa ambiental. In: PHILIPPI, Arlindo (Ed), **Interdisciplinaridade em Ciências Ambientais**, São Paulo: Signus, 2000.

SILVA, L. M. C; MONTEIRO, R.A. **Outorga de direito de uso de recursos hídricos: uma das possíveis abordagens**. Brasília: ANA, 2005.

SILVA, M. Cardoso da. **Uma contribuição à gestão de bacias hidrográficas a partir da investigação histórica do ambiente**: estudo de caso: Bacia Hidrográfica do Rio Canoas/SC. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Florianópolis, 2004.

SILVA, R. C. V.; MASCARENHAS, F. C. B.; MIGUEZ, M. G. **Hidráulica fluvial**. Rio de Janeiro: COPPE: UFRJ, 2003. 304p.

SILVA, R. C. V. (Ed.). **Métodos numéricos em recursos hídricos 6** . Porto Alegre: ABRH, 2003.

SILVEIRA, G. L. da. et al. Outorga para uso dos recursos hídricos: aspectos práticos e conceituais para o estabelecimento de um sistema informatizado. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 3, n. 3, p. 5-16, jul./set. 1998.

SILVEIRA, G.L.; CRUZ, J.C (orgs). Seleção ambiental de barragens: análise de favorabilidades ambientais em escala de bacia hidrográfica. Santa Maria: UFSM/ABRH, 2005.

SIMONIVIC, S.P.; BENDER, M.J. Collaborative planning-support system: an approach for determining evaluation criteria. **Journal of Hydrology**, Reino Unido, v.177, p. 237-251, 1996.

SIMONOVIC, S. P.; FAHMY, H. A new modeling approach for water resources policy analysis. **Water Resources Research**, Estados Unidos, v. 35, n. 1, p. 295-304, jan. 1999.

SPAIN. Ministerio de Medio Ambiente. **Guia para la elaboración de estudios del medio físico: contenido y metodología**. Spain: Centro de Publicaciones, 2004.

SPAIN. Ministerio de Medio Ambiente. Tres casos de planificación hidrológica. Spain: Centro de Publicaciones, 2004.

THAME, A. C. M (Org). **A cobrança pelo uso da água**. São Paulo: IQUAL, 2000. 256p.

TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de Água**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2004. 643 p.

TUCCI, C. E. M (org). **Hidrologia**: ciência e aplicação. 3. ed., Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2004. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos, 4).

____. Modelos Hidrológicos. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS: ABRH, 2005.

TUCCI, C. E. M. **Regionalização de Vazões**. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2002.

TUCCI, C.E.M. Escoamento superficial. In: TUCCI, C.E.M. (Org.) **Hidrologia**: ciência e aplicação. 2. ed. Porto Alegre: ABRH:Editora UFRGS, 2004. p. 391-441.

TUCCI, C. E. M. **Modelos hidrológicos**. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2005.

TUCCI, C. E. M.; ESPANHOL, I.; CORDEIRO NETTO, O. M. **Gestão da Água no Brasil**. Brasília : UNESCO, 2001.

UNESCO. **The International Year for the Fresh Water**. 2003. Disponível em <<http://www.wateryear2003.org/>> . Acesso em 15 abril 2005.

UNESCO. **2005-2015: International Decade for Action 'Water for Life'**. 2005. Disponível em: <http://www.unesco.org/water/water_celebrations/decades/index.shtml>. Acesso em 15 abril 2005.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. CEDIBH. Centro de Disseminação de Informações sobre Bacia Hidrográficas. Legislação. Disponível em <<http://www.caminhodasaguas.ufsc.br>>. Acesso em 24 mar. 2005.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. Relatório Projeto Aquífero Guarani. Disponível em: <www.aquiferoguarani.ufsc.br>. Acesso em: 24 mar. 2005.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. Relatório Projeto Ecologia e Gente de Montanhas. Disponível em: <<http://www.montanhas.ufsc.br>>. Acesso em 24 mar. 2005.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. Relatório Projeto Suinocultura, Disponível em: <<http://www.suinoseambiente.ufsc.br>>. Acesso em: 24 mar 2005.

VALENÇA, M (Ed.). **Aplicando redes neurais**: um guia completo. Olinda: [s.l.], 2005. p. 284.

WURBS, R. A. Modeling river reservoir system management water allocation and supply. **Journal of Hydrology**, Reino Unido, v. 30, n.1-4, p.100-113, 2005.

WURBS, R. A. Methods for developing naturalized monthly flows at gagged and engaged sites. **Journal of Hydrology Engineering**, Estados Unidos, v. 11, n.1, p.55-64, jan./fev. 2006.

YAKOWITZ, S. Dynamic programming applications in water resources. **Water Resources Research**, Estados Unidos, v. 18, n. 4, p. 673-696, ago. 1982.

YEH, W. W. G. Reservoir management and operations models: a state-of-the-art review. **Water Resources Research**, Estados Unidos, v. 21, n. 12, p. 1797-1818, dez.1985.